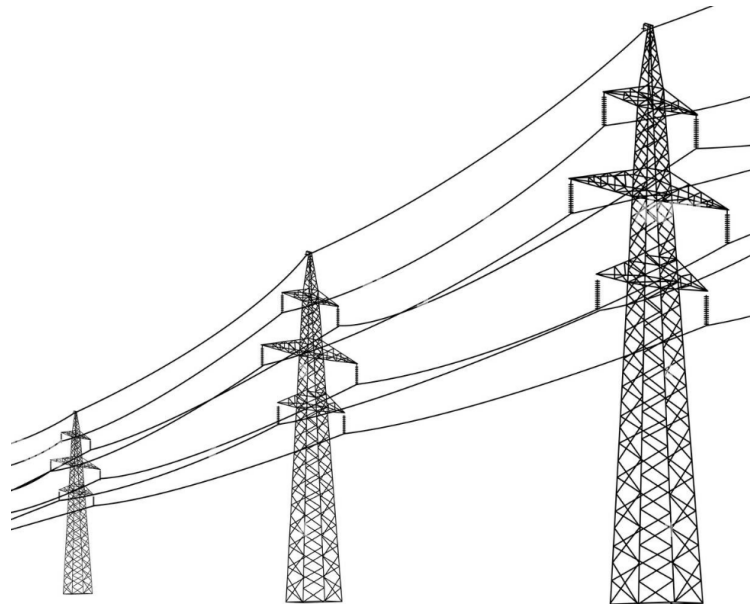


TRASSIERUNGSGRUNDSÄTZE

Neubau 110-kV-Freileitung und Kabel



(Stand Mai 2025)

TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG

Impressum

Auftraggeber: **TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG**
Schwerborner Str. 30
99087 Erfurt

Bearbeitung: Steffen Liening

Bearbeitungszeitraum: Juni 2020 – Mai 2025

Stand: 28.05.2025

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorbemerkung	1
1.1	Zuständigkeit.....	1
2.	Ermittlung der Trassenführung.....	1
2.1	Allgemeines.....	1
2.2	Vorrangregelung § 43 h Energiewirtschaftsgesetz (EnWG).....	3
2.3	Trassengestaltung.....	4
2.3.1	Kabel	4
2.3.2	Freileitung.....	5
2.3.3	Umspannwerke	6
2.4	Planrechtfertigung.....	6
3.	Kabel vs. Freileitung.....	8
3.1	EMF.....	8
3.2	Baulärm.....	9
3.3	Wirtschaftlichkeit Vergleich Freileitung – Erdkabel.....	9
3.4	Kosten.....	10
4.	Technische Ausführung.....	11
4.1	Technische Konzeption.....	11
4.2	Bauablauf	17
4.2.1	Bauablauf Kabellegung.....	17
4.2.2	Bauablauf Freileitungsmontage.....	20
5.	Dingliche Sicherung	21
6.	Maßgaben aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG).....	22
6.1	Elektromagnetische Felder	22
6.2	Betriebsbedingter Lärm	24
6.3	Baulärm.....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mindestabstände (lichte Weite) zwischen Hochspannungskabel- und Rohranlagen bei Parallelführungen (Quelle: Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW GW 22 (A) Februar 2014)	2
Abbildung 2: verbreiteter Regelgraben für zwei 110-kV-Kabelsysteme (Quelle: Planung TEN)	5
Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau eines VPE-isolierten Einleiter-Hochspannungskabels (Quelle: nkt cables)	12
Abbildung 4: Schematischer Querschnitt durch eine 110-kV-Kabelbaustelle, Regelgraben für zwei 110-kV-Kabelsysteme (Quelle: Planung Fa. Omexom).....	13
Abbildung 5: Beispiel Flachgründung Plattenfundament	15
Abbildung 6: Donaumasttyp beispielhafte Darstellung (Quelle: TEN Konstruktionsunterlagen)	16
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Seilregulierung (Quelle: TEN Baurichtlinie).....	21
Abbildung 8: Elektrisches (links) und magnetisches Feld (rechts) in der Umgebung eines Freileitungsleiterseils (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)).....	23
Abbildung 9: Lärm am Bau im Vergleich: Schallpegel verschiedener Geräusche in Dezibel [dB (A)] (Quelle: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Bildquelle: Florian Perez – xmedias).....	28

Fotodokumentation

Foto 1: 110-kV-Kabelbaustelle Dieksanderkoog-Marne/West, Schleswig-Holstein Netz AG (Beispielfoto, Quelle: Fa. Omexom)

Foto 2: Spezialtransport einer 110-kV-Kabeltrommel vom Kabelwerk zur Baustelle (Beispielfoto, Quelle: Fa. nkt cable)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden (Quelle: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970 (AVV Baulärm))
Tabelle 2	Immissionsorte und Immissionsrichtwerte laut AVV Baulärm

Abkürzungsverzeichnis

μ

μT · Mikrottesla

A

A/E · Ausgleichs- und Ersatzflächen
A/m · Ampere pro Meter
Abs. · Absatz
AfK · Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen
AL/ST · Aluminium/Stahl-Seil
AVV · Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm

B

B · Flusssichte
B 123 · Bundesstraße Nummer 123
BA · Bauabschnitt
BAB · Bundesautobahn
Baurichtlinie H · Baurichtlinie Hochspannung
BfS · Bundesamt für Strahlenschutz
BGBl · Bundesgesetzblatt
BImSchG · Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV · Bundesimmissionsschutzverordnung
BIT · Bürgerinitiative
BNatSchG · Bundesnaturschutzgesetz
B-Plan · Bebauungsplan
bzw. · beziehungsweise

C

ca. · circa, zirka
CO₂ · Kohlenstoffdioxid
Cu · Kupfer

D

DB · Deutsche Bahn
dB(A) · Dezibel - Bewertungskurve A
DIN · Deutsches Institut für Normung
DKE · Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik
DVGW GW · Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches - Gas- und Wasserwirtschaft

E

e.V. · eingetragener Verein
EMV · Elektromagnetische Verträglichkeit
EN · Europäische Norm
EnWG · Energiewirtschaftsgesetz
EOK · Erdoberkante
ev. · eventuell

F

ff. · folgend (auf den nächsten Seiten)

G

GE · Gewerbegebiet
ggf. · gegebenenfalls
GHz · Gigahertz
GmbH · Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GmbH & Co.KG · Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft
GVBl · Gesetz- und Verordnungsblatt
GWG · Gewerbegebiet
GWh · Gigawattstunde

H

H · Magnetische Feldstärke
HD · Hochdruck
HGÜ · Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
HS · Hochspannung
Hz · Hertz - Einheit der Frequenz

I

IG · Industriegebiet
IO · Immissionsorte

K

K 504 · Kreisstraße Nummer 504
kHz · Kilohertz
km · Kilometer
kV · Kilovolt
kV/cm · Kilovolt pro Centimeter
kV/m · Kilovolt pro Meter

L

LAI · *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz*
LBP · *Landschaftspflegerischer Begleitplan*
LEG · *Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen*
LEP · *Landesentwicklungsprogramm*
LG · *Langstabilisatoren*

M

MS · *Mittelspannung*
MVA · *Megavoltampere*
MW · *Megawatt*

N

NEP · *Netzentwicklungsplan*
NOVA · *Netz-Optimierung vor Verstärkung vor Ausbau*

O

o. g. · *oben genannt*

P

PFV · *Planfeststellungsverfahren*
PV · *Photovoltaik*

R

ROG · *Raumordnungsgesetz*
RoV · *Raumordnungsverordnung*

S

SfB · *Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen*

T

T · *Tesla*
TA Lärm · *technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm*
TE · *Technische Empfehlung*
TEAG · *Thüringer Energie AG*
TEN · *Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG*
TEUR · *Tausend Euro*
ThürBO · *Thüringer Bauordnung*
ThürStrG · *Thüringer Straßengesetz*
ThürVwVfG · *Thüringer Verwaltungsverfahrensgesetz*
TLBV · *Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr*
TLLLR · *Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum*
TLVwA · *Thüringer Landesverwaltungsamt*
TMIL · *Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft*
TÖB · *Träger öffentlicher Belange*

U

uNB · *untere Naturschutzbehörde*
UVP · *Umweltverträglichkeitsprüfung*
UW) · *Umspannwerk*

V

V/m · *Volt pro Meter*
VDE · *Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik, Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.*
VDN · *Verband der Netzbetreiber*
VIZ · *Verkehrsinformationszentrale*
vs · *versus*

W

WA/WE · *Winkelabspann-/Winkelend*
WA · *Winkelabspann-Mast*
WAZ · *Winkelabzweig-Mast*
WAZV · *Wasser- und Abwasserzeckverband*

1. Vorbemerkung

Diese Unterlage beschreibt allgemein verständlich die Regelungen zur Gestaltung eines 110-kV-Anschlusses sowie die Herleitung einer Vorzugstrasse.

1.1 Zuständigkeit

Die Raumverträglichkeit, raumbedeutsamer Planungen und Maßnahmen, prüft in einem besonderen Verfahren die für Raumordnung zuständige Landesbehörde im Sinne von § 1 der Raumordnungsverordnung (RoV vom 13. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2766), die zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 3. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2694) geändert wurde). Für Planungen und Maßnahmen soll ein Raumordnungsverfahren, entsprechend § 15 Raumordnungsverordnung, durchgeführt werden, wenn sie im Einzelfall raumbedeutsam sind und überörtliche Bedeutung haben. Dies gilt unter anderen für die Errichtung von Hochspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung von 110-Kilovolt (kV) oder mehr. Die für Thüringen zuständige Behörde ist das Thüringer Landesverwaltungsamt (TLVwA), Referat Raumordnung mit Sitz in Weimar.

Die Errichtung und der Betrieb sowie die Änderung von Hochspannungsleitungen mit einer Nennspannung von 110-kV sind nach § 43 ff. Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Dezember 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 448) geändert worden ist) planfeststellungsbedürftig. Die planfeststellende Behörde in Thüringen ist das TLVwA, Referat Planfeststellungsverfahren für Verkehrsbaumaßnahmen (Referat 540), mit Sitz in Weimar.

Für Belange wie Schutzgüter nach § 30 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3908) geändert worden ist, ist die unteren Naturschutzbehörde des betroffenen Landkreises zuständig. Bei Landkreis-übergreifenden Bauvorhaben, kann nach Beantragung beim zuständigen Ministerium, die Zuständigkeit zur Oberen Naturschutzbehörde wechseln.

2. Ermittlung der Trassenführung

2.1 Allgemeines

Wesentliche Kriterien bei Auswahl und Ermittlung einer Trasse sind:

- eine möglichst direkte und kurze Leitungsführung, zur Minimierung von Eingriffen in die Umwelt, der Inanspruchnahme von Grund und Boden sowie der Kosten,
- die Bündelung neu zu planender Leitungen, unter Beachtung der erforderlichen Mindestabstände, mit vorhandener Infrastruktur (Bündelungsprinzip),
- die möglichst geringe Durchschneidungslänge von geschützten Landschaftsbestandteilen oder Umgehung derselben,

- die Umgehung von vorhandenen und geplanten Wohn-, Gewerbe- und Siedlungsgebieten.

Kabeltrassen sollten sich an vorhandenen Infrastruktureinheiten, wie z. B. Straßen und Wege, orientieren.

Bei einer Verlegung im Offenland wird nicht immer der kürzeste Verlauf favorisiert, sondern eine Verlegung am Rand vorhandener Strukturen, wie z. B. Feldwege und Grünstreifen, Ackerflurgrenzen.

Eine enge Bündelung mit vorhandenen Gastrassen ist wegen der Gefährdung im Kurzschlussfall des Kabels nicht zulässig (Explosionsgefahr). Unter Einhaltung der Mindestabstände ist jedoch eine Parallelführung möglich, ggf. sind Beeinträchtigungsstudien zu erstellen und auf deren Grundlage weitere Maßnahmen abzuleiten. Für Wasser- und Abwasserleitungen gilt, dass eine mögliche Beeinflussung den ordnungsgemäßen Betrieb von Korrosionsschutzanlagen gefährden kann, weiterhin sind Spannungsverschleppungen zu beachten.

Als erste technische Regel zum Themenbereich „Hochspannungsbeeinflussung“ erschien im Januar 1966 die Empfehlung „Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungsfreileitungen (Richtlinien für hochspannungsbeeinflusste Rohrleitungen)“. Nach intensiven Beratungen des Arbeitskreises (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) wurde diese erstellt und textgleich als Technische Empfehlung Nr. 7 (TE 7) der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen (SfB) und als Empfehlung Nr. 3 (AfK 3) der Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen (AfK) veröffentlicht. Die aktuellen Ausgaben (Februar 2014) schreiben einen Mindestabstand von mehr als 5 Metern zwischen einer Rohrleitung und einem 110-kV-Hochspannungskabelsystem vor (siehe hierzu Abbildung 1).

Spannungsebene des Kabelsystems	Mindestabstand zur Rohrleitung
< 110 kV	1 m
≥ 110 kV	5 m
≥ 380 kV	10 m

Abbildung 1: Mindestabstände (lichte Weite) zwischen Hochspannungskabel- und Rohranlagen bei Parallelführungen (Quelle: Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW GW 22 (A) Februar 2014)

Entsprechend DIN EN 50443 soll der Abstand von Gasleitungen zu Erdungsanlagen einer Hochspannungsanlage mit Nennspannungen größer 50-kV sogar mindestens 20 m betragen, Grund hierfür ist die Vermeidung von Spannungsverschleppungen, welche das Betriebspersonal schädigen könnte.

Die Kabeltrasse muss, entsprechend der VDE-Empfehlung „Schutzstreifenbreiten für 110-kV-Kabel“ vom 27.11.1997, einen Schutzstreifen von min. 4,80 m erhalten. Um die ständige Befahrbarkeit im Störfall zu ermöglichen, werden weitere Flächen beansprucht. Es darf keine Überbauung stattfinden, eine Bewirtschaftung der Trasse einschließlich Schutzstreifen ist nur eingeschränkt zulässig.

Für den speziellen Fall einer Gewässerkreuzung kommen folgende Aspekte zum Tragen:

- Erfordernis einer Dükerung mit 2 Rohren, Durchmesser 450 mm,
- Start- und Zielgruben größeren Ausmaßes sind in Habitaten und Brutgebieten erforderlich, da sich diese meist in Ufernähe befinden,
- Herstellung eines offenen Kabelgrabens im Anschluss der Dükerung mit schwerem Gerät,
- Wasserverschmutzungen sind wetterbedingt nicht immer vermeidbar.
- Gefahr der Unausführbarkeit des Einzuges der Schutzrohre in die Bohrung durch Versandung / Verschwämmen,
- Gefahr des Verlaufs der Bohrung durch schräg liegende Gesteinsplatten / -schichten unter dem Flussbett / Gewässers verbunden mit möglichen unkontrollierbaren Beschädigungen der Gewässersohle und Verunreinigungen des Gewässers selbst.

Im Gegensatz zum Kabel sind die Winkelpunkte die Grundlage für die Auswahl von Trassen bei Hochspannungsfreileitungen, welche geradlinig durch eine Achse verbunden werden. Weiterhin ist die räumliche Lage dieser Punkte mit den dazwischenliegenden Bereichen und ihrem Konfliktpotential zu beachten. Wesentliches Kriterium bei der Trassenermittlung bei Freileitungen ist:

- die Umgehung von vorhandenen und geplanten Wohn-, Gewerbe- und Siedlungsgebieten (Mindestabstand: 200 m, Regelabstand: 400 m).

2.2 Vorrangregelung § 43 h Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Entsprechend dem Energiewirtschaftsgesetz ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität anzustreben. Ein weiteres Ziel ist die Sicherstellung eines wirksamen und unverfälschten Wettbewerbs sowie die Sicherung eines langfristig angelegten leistungsfähigen und zuverlässigen Betriebs von Energieversorgungsnetzen.

Im § 43 h (Ausbau des Hochspannungsnetzes, EnWG) ist festgelegt, dass Hochspannungsleitungen auf neuen Trassen mit einer Nennspannung von 110-Kilovolt (kV) oder weniger als Erdkabel auszuführen sind, soweit die Gesamtkosten für Errichtung und Betrieb des Erdkabels die Gesamtkosten der technisch vergleichbaren Freileitung den Faktor 2,75 nicht überschreiten und naturschutzfachliche Belange nicht entgegenstehen. Die für die Zulassung des Vorhabens zuständige Behörde kann auf Antrag des Vorhabenträgers die Errichtung der Freileitung zulassen, wenn öffentliche Interessen nicht entgegenstehen.

Kabel- und Freileitungstrassen unterliegen einer Vielzahl von Voruntersuchungen. Verlaufsentscheidend sind vor allem vorhandene Versorgungs- und Entsorgungsleitungen, der Schutz privater Interessen, die Versorgungssicherheit sowie die Eingriffe in naturschutzfachliche Belange.

2.3 Trassengestaltung

2.3.1 Kabel

Um eine identische Übertragungsleistung pro Stromkreis wie bei einer Freileitungstrasse zu gewährleisten, müssen zwei 110-kV-Kabelsysteme mit einem Leiterquerschnitt von 630 mm² Kupfer (Cu) verlegt werden. Diese 110-kV-Kabelsysteme bestehen jeweils aus drei Einzelkabeln mit einem Durchmesser von ca. 100 mm pro Kabelader. Die Einzelkabel werden in dreieckiger Anordnung, teilweise in Leerrohre mit einem Durchmesser von je 150 mm, verlegt.

Bei einer Grabentiefe von mehr als 1,6 m im Offenland, einer Grabensohlenbreite von ca. 2 m sowie unter Beachtung schwieriger Böden in Thüringen ist das so genannte Kabelpflügen nicht möglich. Ein Pflügen in Bebauungsgebieten ist wegen der vorhandenen Versorgungs- und Entsorgungsmedien sowie wegen der Oberflächenversiegelung generell ausgeschlossen.

Um den reibungslosen Kabeleinzug zu ermöglichen, muss die Kabeltrasse über Abschnitte von ca. 700 m offengehalten werden (offene Bauweise). Alternativ können kurze Abschnitte zusätzlich verrohrt werden, dies ermöglicht den Kabeleinzug am bereits verfüllten Kabelgraben. Die Kabelschutzrohre vermindern jedoch die notwendige Kühlung der Kabelsysteme und verringern somit die Übertragungskapazität der Kabelanlage. In Gegensatz zur Freileitung kann bei der Kabelverlegung nicht lokal gearbeitet werden, da die gesamte Kabeltrasse ausgeschachtet werden muss.

Durch die begrenzte Kabellänge (abhängig von Kabeltrommel) kann das Kabelsystem nicht durchgängig (als ein Stück) vom Start- zum Zielpunkt verlegt werden. Die Verlegung erfolgt deshalb in Abschnitten. Am Anfang bzw. am Ende des Abschnittes werden Trommel- und Montageplätze benötigt, hier entstehen auch die Muffen-Bauwerke, in denen die Enden mittels Kabelarmaturen verbunden werden. Diese Montagearbeiten sind äußerst aufwendig, die Kabelenden müssen vorm Verbinden ca. 12 Stunden aufgeheizt (getempert) werden; während der Montagen ist auf absolute Sauberkeit zu achten. Diese Arbeiten können bis zu 1 Woche pro Kabelsystem dauern, häufig treten hierbei Behinderungen des öffentlichen Verkehrs bzw. der Landwirtschaft auf.

Nach Einbringen der Kabelsysteme wird die Trasse wieder verfüllt und der Unterboden mittels Rüttlern verdichtet. Als weiterer Schritt erfolgt die Abdeckung der Trasse mit dem gelagerten Mutterboden. Zur Herstellung des Grabens ist der Einsatz von Mechanisierungsgeräten, wie Bagger, LKW, Kettenraupen, etc. erforderlich. Bedingt durch die große Kubatur einer Kabeltrasse, ist der Logistik- und Transportaufwand hierfür sehr groß. Für die Einbringung der Kabel werden moderne Kabelzugmaschinen und Winden eingesetzt, die gleichfalls mittels LKW an den geplanten Muffen-Plätzen stationiert werden. Der Transport der Kabeltrommeln erfordert Spezial-LKW sowie Mobilkräne.

Während der Bauphase werden, neben dem eigentlichen Kabelgraben, auch Schutzabstandsflächen, Baustraßen sowie Lager- und Montageflächen benötigt. Somit wird eine Baufeldbreite von bis zu 25 m in Anspruch genommen.

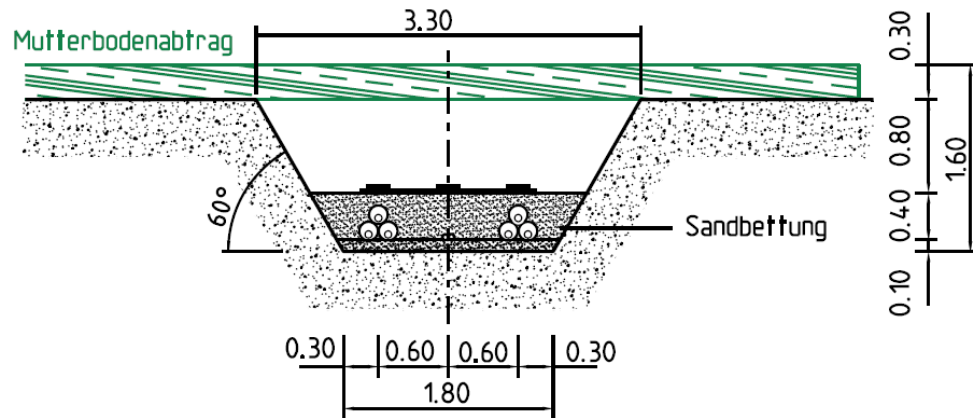


Abbildung 2: verbreiteter Regelgraben für zwei 110-kV-Kabelsysteme (Quelle: Planung TEN)

Nach der Fertigstellung der Kabelanlage ist ein Schutzstreifen von ca. 5 m notwendig. Diese Zone ist durch regelmäßige Pflegearbeiten von Gehölzstrukturen freizuhalten, um die Erdkabel zu schützen und einen gefahrenfreien Leitungsbetrieb zu gewährleisten. Dies gilt vor allem für tiefwurzelnde Gehölzpflanzen.

Die Kabeltrasse muss an allen Stellen von jeglicher Bebauung freigehalten werden, um die uneingeschränkte Zugänglichkeit zu garantieren und eventuelle Schäden umgehend beheben zu können.

2.3.2 Freileitung

Die maßgebliche Gestaltung einer Freileitungstrasse erfolgt durch die Ausbildung des Mastes, insbesondere des Mastkopfes, der die Aufgabe hat, die entsprechende Anzahl Leiter- und Erdseile aufzunehmen.

Im Freileitungsbau kommen Abspann- und Tragmasten zum Einsatz. An Abspannmasten sind die Leiterseile mit isolierten Armaturen fest abgespannt. Richtungsänderungen in der Leitungsführung sind nur an Abspannmasten möglich. In einem Abspannabschnitt, der durch 2 Abspannmasten begrenzt wird, ist die Leitungsführung im Allgemeinen geradlinig und verläuft über mehrere Tragmasten, an denen die Leiterseile an isolierten Armaturen freischwingend befestigt sind.

Einen Eingriff in das Schutzgut Boden ist nur an Stützpunkten erforderlich, da hier die Mastfundamente entstehen. Wie bei Kabelanlagen werden zum Bau von Freileitungen auch Schutzabstandsflächen, Baustraßen sowie Lager- und Montageflächen benötigt. Die beanspruchten Flächen sind jedoch deutlich kleiner. Baustraßen in der Feldflur können mittels Baggermatten bzw. mit Stahl- und Aluminiumplatten, ohne Mutterbodenabtrag, hergestellt werden. Nach Abschluss der Arbeiten werden diese aufgenommen, eventuelle Verdichtungen des Mutterbodens lassen sich mit geringem Aufwand beseitigen.

Auf Grund des Durchhanges der Leiterseile ist ein Ausschwingen durch Windeinfluss gegeben, welches bei den seitlichen Abständen zu berücksichtigen ist. Entsprechend der DIN EN 50341 sowie VDE 0210 sind horizontale und vertikale Sicherheitsabstände zu sensiblen Kreuzungsobjekten und ein spannungsabhängiger

Mindestbodenabstand einzuhalten. Durch die notwendigen vertikalen Sicherheitsabstände ergeben sich die entsprechenden Masthöhen. Die Summe aus der Traversenbreite, der beidseitigen Ausschwingungsbreite der Leiterseile und dem seitlichen Sicherheitsabstand (> 3 m bei 110-kV) ergibt die Schutzstreifenbreite.

Entsprechend der tatsächlichen Ausschwingung der Leiterseile ist der Schutzstreifen parabolisch und dient als Grundlage für den Abschluss von Dienstbarkeiten und der damit verbundenen Entschädigungszahlungen. Die Breite des parabolischen Schutzstreifens wird hierbei maßgeblich von der Spannweite (Entfernung zwischen 2 benachbarten Masten) bestimmt.

2.3.3 Umspannwerke

110-kV-Umspannwerke sind Teil des allgemeinen elektrischen Versorgungsnetzes. Sie dienen zur Speisung des regionalen Mittelspannungsverteilernetzes (20-kV-Spannungsebene). Ergänzend für den Betrieb werden weitere wichtige Funktionen, wie lokale Steuerung, Spannungsregelung, Netzschutz, Energiezählung, Fernmessung, Fernsteuerung und Eigenbedarf, übernommen. Durch den hohen Automatisierungsgrad erfolgt der Betrieb, wie das Ausführen von Schalthandlung, vollautomatisch bzw. ferngesteuert.

Der Flächenbedarf richtet sich nach der Ausstattungsvariante der elektrischen Anlagen sowie am bereitzustellenden Leistungsbedarf. Weiterhin ist eine dauerhafte, schwerlastfähige Zufahrt mit angemessenen Kurvenradien erforderlich.

Die Baugenehmigung erteilt das zuständige Bauamt im Landkreis, ein Umspannwerk ist prädestiniert und unterliegt dem vereinfachten Baugenehmigungsverfahren nach § 62 ThürBO. Umspannwerke sind somit unabhängig vom Leitungsbau zu betrachten.

2.4 Planrechtfertigung

Die TEN, als Netzbetreiber, ist für Errichtung und Betrieb des Stromnetzes verantwortlich. Unter den Bedingungen des § 17 EnWG sind wir zum Anschluss von Letztverbrauchern an das Versorgungsnetz verpflichtet.

Öffentliche Verteilnetze sind ein bedeutender Bestandteil des Energiesystems in Deutschland, da über sie alle Abnehmer mit Elektroenergie versorgt werden. Bei Planung von Bau- und Rekonstruktionsmaßnahmen sind wichtige Entscheidungen zur Gestaltung, Bemessung und Betriebsweise des Netzes zu fällen.

Die Planung eines Energieversorgungsnetzes hat so zu erfolgen, dass beim Betrieb unter Normalbedingungen alle Kunden mit ausreichender Spannung und konstanter Frequenz versorgt werden. Dies sind Voraussetzungen für zuverlässiges und sicheres Arbeiten aller Arten von elektrischen Geräten und Verbrauchern. Weiterhin muss das Netz kurzschlussfest sein, d. h. es muss jederzeit ein Kurzschluss an beliebiger Stelle beherrscht werden können. Alle Komponenten müssen den thermischen und dynamischen Beanspruchungen während der Kurzschlussdauer standhalten.

Vorrangige Zielstellung ist es den berechtigten Anforderungen der Abnehmer hinsichtlich Leistungsbedarf, Versorgungszuverlässigkeit und -qualität gerecht zu werden.

Netzbetreiber koordinieren Transport und Verteilung des Stroms von den Kraftwerken zu den Verbrauchern. Während s. g. Übertragungsnetzbetreiber die großen Stromtrassen (ab 220-kV aufwärts) nutzen, ist für jeden einzelnen Haushalt jeweils der örtliche Verteilnetzbetreiber zuständig.

Als klassischer Flächen- und Verteilnetzbetreiber übernimmt die TEN alle Leistungsaufgaben für den Betrieb der Verteilungsnetze in Thüringen. Als Netzgesellschaft trägt die TEN maßgebend für eine gesicherte Gewährleistung der öffentlichen Energieversorgung bei. In unserem Verantwortungsbereich liegen gleichfalls die Netzgestaltung und deren Entwicklung.

Daraus leiten wir die Netzzugangs- und die Netzanschlussbedingungen ab, die das Netz für alle Nutzer zu jeder Zeit sicher und zuverlässig halten. Darüber hinaus sind wir für die Zählung, Messung und Bereitstellung der Verbrauchswerte, das Management und die Abrechnung der Netznutzung verantwortlich. Unsere Verteilungsnetze stehen allen Nutzern gleichermaßen zur Verfügung (diskriminierungsfrei), unabhängig davon, mit welchem Stromlieferant ein Vertrag geschlossen wurde.

Die Sicherstellung der Netzstabilität, der Spannungsqualität sowie der Versorgungssicherheit im Thüringer Raum sind unsere Ziele. Wir erfüllen nicht nur die Versorgungsaufgabe unter Beachtung höchster Systemsicherheit, sondern wir entwickeln konkrete Maßnahmen zur Optimierung, zur Verstärkung und zum Ausbau unseres Netzes. Die Netzplanung der TEN erfolgt nach dem NOVA-Prinzip (Netz-Optimierung vor Verstärkung vor Ausbau). Wird auf Basis der Planungsergebnisse oder aus dem Betrieb der Netze heraus ein Handlungsbedarf festgestellt, werden grundsätzlich zuerst Maßnahmen zur Netzoptimierung ausgeschöpft. Sind diese nicht ausreichend, erfolgen weitere Maßnahmen zur Netzverstärkung und falls erforderlich zum Netzausbau. Neben der reinen technischen Abwägung werden die jeweiligen gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen sowie die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen in die Entscheidungsfindung einbezogen.

Insbesondere im Hochspannungsbereich bewerten wir jährlich den Zustand unserer Anlagen. Im Ergebnis leiten wir die Auswirkungen des zu erwartenden Leistungsbedarfes sowie den geplanten Ausbau von Einspeiseanlagen (Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien) auf unser 110-kV-Netz ab.

Die Netzstrukturen der TEN sind so ausgelegt, dass bei einem Schaden, die Weiterversorgung über ein redundantes System sichergestellt wird (Versorgungssicherheit). Wir sprechen hier von einer s. g. „n-1“ Sicherheit. Diese Verpflichtung gewährleistet die TEN auf unterschiedliche Art und Weise.

Die einfachste Möglichkeit wäre, das Stromnetz generell nur zu 50 % auszulasten. Diese Netzfahrweise ist durch die hohe Einspeisung sowie Durchleitung der erneuerbaren Energien (wie Wind- und Solarstrom) nicht mehr in allen Bereichen möglich. Seit dem Jahr 2008 setzt die TEN verstärkt auf das „Leistungsmonitoring“. Ziel

ist hier eine effiziente Auslastung der Stromversorgungsanlagen, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden. Weiterhin hat die TEN ein Programm erarbeitet, um die Übertragungskapazitäten vorhandener Anlagen zu erhöhen. Auch der Einsatz von Regeltechnik im Bereich der Hoch- und Mittelspannung bewährt sich beim Umgang mit Leitungsempässen. Pilotprojekte im Bereich der Niederspannung sind in Erprobung (regelbare Ortsnetztransformatoren). Weiterhin tragen notwendige Leitungsneubauten zusätzlich zur Versorgungssicherheit bei.

Jedoch müssen kritische Hochspannungsleitungen (speziell Anschluss- und Stichleitungen) konsequent als Doppelsystem ausgeführt werden, um bei Ausfall einer Komponente die Weiterversorgung zu gewährleisten. Fazit, diese sind nur zu 50% auszulasten, um den Faktor „n-1“ einzuhalten.

3. Kabel vs. Freileitung

3.1 EMF

Niederfrequente Felder durchdringen den menschlichen Körper und beeinflussen diesen. Mitunter führen diese Felder bei sehr sensiblen Menschen zu Nerven- oder Muskelzellreizungen sowie optischen Flimmererscheinungen. Je höher diese Felder, umso stärker sind die Auswirkungen auf den menschlichen Körper. Aus diesem Grund hat der Gesetzgeber in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Gefahren durch elektrische und magnetische Felder von Gleichstrom- und Niederfrequenzanlagen erlassen.

Wie bei Hochspannungsfreileitungen treten auch bei HS-Erdkabeln elektrische und magnetische Felder auf. Beide Feldarten sind getrennt zu betrachten und hängen im Nahbereich von der Mastkopfform der Freileitung bzw. der Verlegeart und -tiefe der Kabel ab. Während man die Felder durch die Bauweise einer Freileitung beeinflussen kann, sind Maßnahmen zur Minderung von magnetischen Feldern bei Erdkabelanlagen sehr begrenzt. Im Gegensatz zur Freileitung sind HS-Erdkabeltrassen in der Natur nicht ohne weiteres für einen Laien wahrnehmbar.

Zu elektromagnetischen Feldern an 110-kV-Erdkabeltrassen liegen keine tiefgründigen Studien vor. Jedoch hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in einer abgeschlossenen Studie die Feldstärken in der Umgebung von Wechselstrom-Freileitungen und -Erdkabeln der Hoch- und Höchstspannungsebene messen lassen¹.

Die höchsten Magnetfeldstärken wurden hier unter 380-kV-Freileitungen und über 380-kV-Erdkabeln gemessen. Sie betragen 1 Meter über dem Erdboden 4,8 Mikrottesla (Freileitung) beziehungsweise 3,5 μT (Erdkabel)².

¹ BfS, Studie „Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsfreileitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern - Vorhaben 3608S03011 [2. Auflage]

² Quelle: <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/netzausbau/basiswissen/feldbelastungen/feldbelastungen.html>

3.2 Baulärm

Der Baulärm bei Montagearbeiten und Leiterzug an Freileitungs- und Kabelanlagen ist in etwa gleich groß, da moderne Maschinen und Fahrzeuge eingesetzt werden. Vergleicht man jedoch die Tiefbauarbeiten, so sind die zeitlichen Wirkungen des Baulärms, bedingt durch die Verlege-Technologie des Kabels, deutlich größer und längerdauernder als bei Freileitungen. Bei einer Freileitung sind Tiefbauarbeiten nur an den Maststandorten erforderlich. Im direkten Vergleich sind die durch den Bau verursachten Emissionen einer Kabelbaustelle, bedingt durch den anfallenden Aushub, größer als die einer Freileitung.

3.3 Wirtschaftlichkeit Vergleich Freileitung – Erdkabel

Gemäß § 43 h EnWG sind Hochspannungsleitungen auf neuen Trassen mit einer Nennspannung von 110-kV oder weniger als Erdkabel auszuführen, soweit die Gesamtkosten für Errichtung und Betrieb des Erdkabels die Gesamtkosten der technisch vergleichbaren Freileitung den Faktor 2,75 nicht überschreiten und naturschutzfachliche Belange nicht entgegenstehen.

Für eine aussagekräftige Wirtschaftlichkeitsberechnung müssen mehrere Faktoren herangezogen werden. Im ersten Schritt gilt es, für die beiden ausgewählten Trassen die Investitionskosten zu aufzuschlüsseln.

Weitere für die Berechnung wichtige Werte sind die jährlichen Verlustkosten, welche über eine Verlustberechnung ermittelt werden. Beim Betrieb von elektrischen Leitungen entstehen physikalische Verluste, welche sich aus spannungsabhängigen, stromabhängigen und Kompensationsverlusten zusammensetzen. Grundlage zur Ermittlung dieser Verluste sind die elektrischen Kennwerte der eingesetzten Leiterseile bzw. Erdkabel und die geplante Trassenlänge. Der Vorhabenträger ist laut EnWG zur Beschaffung dieser Verlustenergie verpflichtet und hat diese öffentlich ausgeschrieben. Mit dem dabei erzielten Preis können die Verlustkosten berechnet werden, welche den Großteil der laufenden Betriebskosten darstellen.

Die vergleichende Wirtschaftlichkeitsberechnung des Leitungsprojektes wird, entsprechend dem Leitfaden zu Investitionsmaßnahmen nach §23 ARegV, Bundesnetzagentur, nach der Barwertmethode durchgeführt. Dabei werden die im Betrachtungszeitraum entstandenen Investitions- und Betriebskosten auf den Zeitpunkt der Investitionsentscheidung abgezinst und summiert. Die auf den Stichtag abgezinsten Kosten werden als Barwert bezeichnet.

Als Betrachtungszeitraum für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Leitungsverbindungen wird die technische Lebensdauer der Anlagen angesetzt. Die Lebensdauer von Kabel und Freileitung unterscheiden sich jedoch deutlich. Während bei Kabeln mit einer Lebensdauer von 40 Jahren gerechnet wird, geht man bei Freileitungen von einer Lebensdauer von 80 Jahren aus. Um aussagefähige Vergleichswerte zu erhalten, wird in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für beide Anschlussarten die Lebensdauer des Kabels angesetzt.

3.4 Kosten

Der Kostenaufwand ist unmittelbar mit der Leitungsvariante und der damit verbundenen Versorgungssicherheit gekoppelt.

Betrachtet man die notwendigen Kosten (Material-, Errichtungs- und Re-Investitionskosten) für ein 2-faches Erdkabelsystem, so liegen diese, bei gleicher Übertragungsleistung und ermittelter Länge, etwa 3-fach über den Kosten für eine 110-kV-Doppelleitung in Freileitungsbauweise.

Grund für den Kostenunterschied ist die Tatsache, dass Erdkabel für die Übertragung der gleichen Leistung einen größeren Leiterquerschnitt benötigen als Freileitungen. Zudem werden Erdkabel aufwendig isoliert, im Vergleich zu ihrem Pendant über der Erde. Während Freileitungen durch die sie umgebende Luft isoliert und gekühlt werden, erfolgt die Isolierung bei modernen Erdkabeln mittels teurer Kunststoffe, dies spiegelt sich bei den Materialkosten wider.

Hinzu kommt, dass der Aufwand sowie die Kosten bei der Planung und dem Bau von Erdkabeltrassen größer sind als bei der Errichtung einer Freileitungstrasse. Ursachen hierfür sind notwendige Erdarbeiten in teils schwierigen Bodenklassen, Kreuzungsbauwerke, erforderliche Übergangsanlagen sowie zusätzlich benötigte Sekundär- und Schutztechnik.

Neben den Aufwendungen für die Herstellung einer Kabelstrecke gilt auch für die Betriebskosten, dass diese, für ein Erdkabelsystem, etwa 3- bis 4-fach über den Kosten eines 110-kV-Freileitungssystems liegen. Hierfür sind vor allem Störungen prägend.

Ein Kurzschluss auf einem Kabel ist immer mit der Zerstörung desselben an der Kurzschlussstelle verbunden und macht eine längere Abschaltung und Reparatur erforderlich. Die Zeit für die Fehlersuche und Instandsetzung nimmt mehrere Tage bzw. Wochen in Anspruch. Zudem verursacht die Reparatur erhebliche Mehrkosten. Eventuell erforderliche Reparaturen an Freileitungsisolatoren oder an Leiterseilen lassen sich dagegen in deutlich kürzerer Zeit realisieren. Die Nichtverfügbarkeit eines Kabelsystems, als Folge eines Fehlers, ist damit deutlich länger als bei einer Freileitung.

Störungsbedingte Ausfälle lassen sich nur mit statistischen Verfahren beschreiben. Wichtige Kenngrößen sind die Ausfallrate und die mittlere Ausfalldauer. Den Kehrwert (Instandsetzungsrate) liefert die VDN-Störungsstatistik.

Beim statistischen Verfahren werden die möglichen Zustände eines Systems und ihre Wahrscheinlichkeiten dargestellt und unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen mathematisch ermittelt.

Am Beispiel einer Einfachleitung (1 System) gilt folgende Annahme:

- für Freileitungen eine Ausfallrate von 1,2 pro Jahr mit 2.900 Instandsetzungsraten – entspricht einem statistischen Ausfall von 3,6 Stunden pro Jahr,
- für Kabel eine Ausfallrate von 0,4 pro Jahr mit 120 Instandsetzungsraten – entspricht einem Ausfall von 29 Stunden pro Jahr.

Seit der Großstörung in Berlin-Köpenick am Dienstag, den 19.02.2019, muss bei einer Kabelvariante auch die Notwendigkeit einer redundanten Trassenführung betrachtet werden, d. h. bei 2 Kabelsystemen müssen mindestens 2 voneinander unabhängige Trassen geplant werden oder die Kabelsysteme im großen Abstand in einem Graben verlegt werden.

Was war passiert? Mehr als 30.000 Haushalte und 2.000 Gewerbetreibende waren für fast zwei Tage ohne Strom, als bei Bauarbeiten an der Salvador-Allende-Brücke Haupt- und auch Ersatzkabel beschädigt worden - obwohl das ausführende Unternehmen den Verlauf der Kabel kannte. Laut Verkehrsinformationszentrale Berlin (VIZ) waren von dem großflächigen Blackout die Ortsteile Köpenick, Müggelheim, Grünau, Bohnsdorf und auch Teile des Bezirks Lichtenberg betroffen. Durch fehlenden Strom an Sendemasten, kam es auch beim Mobilfunknetz zu Einschränkungen. Ferner gingen infolge des Stromausfalls die Blockheizkraftwerke Köpenick und Friedrichshagen vom Netz. Rund 5.000 Haushalte waren von den gestörten Fernwärmeanlagen betroffen. In mehreren mit Strom versorgten Schulen wurden deshalb Betreuungszentren für betroffene Bürgerinnen und Bürger eingerichtet, die nicht in ihren kalten Wohnungen bleiben wollten. Auswirkungen hatte der Stromausfall auch auf die Notrufnummern 110 und 112.

Um die gleiche Versorgungszuverlässigkeit, wie mit Freileitungen zu erreichen, ist es deshalb erforderlich Kabelstrecken mit einer höheren Redundanz, d. h. mit zusätzlichen Parallelsystemen in verschiedenen Trassen oder in extrabreiten Kabelgräben, zu realisieren. Zieht man aus Gründen einer hundertprozentigen Versorgungssicherheit redundante Kabeltrassen in Betracht, verdoppeln sich die Aufwendungen für den notwendigen Tiefbau. Gleiches gilt für die Eingriffe in die Schutzgüter.

Eine enge Bündelung zu vorhandenen unterirdischen Medien, wie z. B. Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen, ist aufgrund der Verlege-Technologie sowie der einzuhaltenden Sicherheitsabstände nicht möglich. Weiterhin ist eine denkbar ungünstige Beeinflussung der Medien zu erwarten (z. B. bei Kathoden-Schutz-Anlagen). Eine enge Parallelführung zu Gas-Trassen ist wegen der Gefährdung (Explosionsgefahr) im Kurzschlussfall des Kabels nicht zulässig.

4. Technische Ausführung

4.1 Technische Konzeption

Der Aufbau eines Einleiter-Erdkabel wird in nachfolgender Abbildung 3 skizziert. In der 110-kV-Spannungsebene wird die Energie in Form von Drehstrom übertragen. Kennzeichen der Drehstromtechnik sind drei elektrische Einzelleiter je Stromkreis. Die auch als Phasen bezeichneten Leiter übertragen die benötigte elektrische Leistung. Es handelt sich um Wechselspannungen mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz), hier stehen die Leiter gegenüber der Erde und gegeneinander unter Spannung. Zur Sicherstellung der notwendigen Netztransportkapazität im „n-1“ Fall, ist eine Verbindung mit zwei unabhängig zu betreibenden Kabelsystemen geboten.

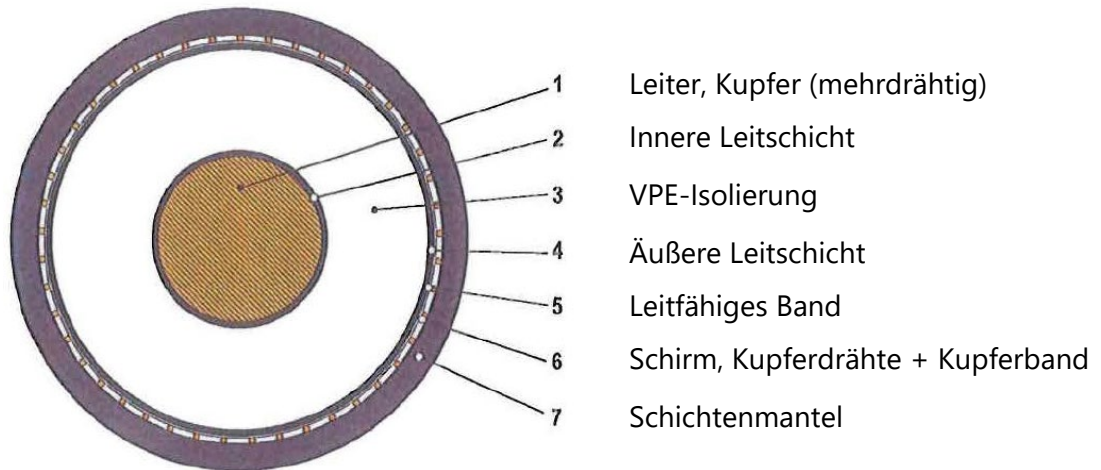


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau eines VPE-isolierten Einleiter-Hochspannungskabels (Quelle: nkt cables)

Für die Isolierung der stromführenden Leiter werden hochwertige Isolierstoffe verwendet, die die Leiter allseitig umgeben und aus vernetztem Polyethylen (VPE) bestehen.

Die wesentlichen Bauelemente einer Kabelanlage sind:

- der Kabelgraben (ggf. Leerrohranlage),
- die Sandbettung incl. Kabelschutzabdeckungen,
- das Erdkabel,
- Muffen und Endverschlüsse.

Das Foto 1 sowie die Abbildung 4 sollen den schematischen Aufbau einer Kabelbaustelle verdeutlichen. Das Foto 2 zeigt den Spezial-Transport einer 110-kV-Kabeltrommel.



Foto 1: 110-kV-Kabelbaustelle Dieksanderkoog-Marne/West, Schleswig-Holstein Netz AG (Beispielfoto, Quelle: Fa. Omexom)

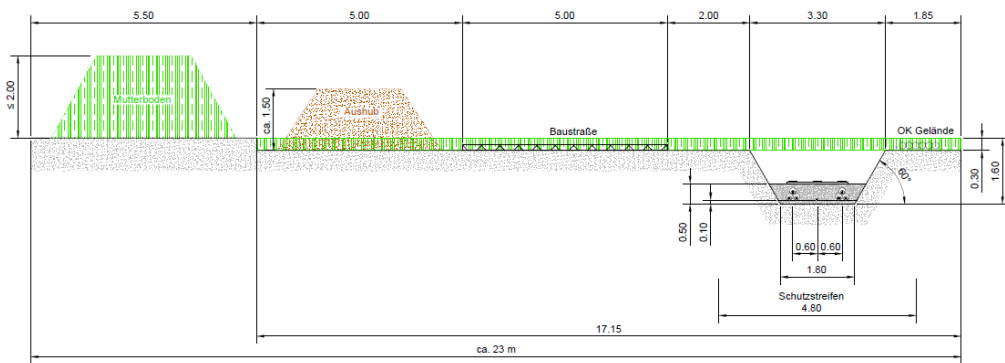


Abbildung 4: Schematischer Querschnitt durch eine 110-kV-Kabelbaustelle, Regelgraben für zwei 110-kV-Kabelsysteme (Quelle: Planung Fa. Omexom)



Foto 2: Spezialtransport einer 110-kV-Kabeltrommel vom Kabelwerk zur Baustelle (Beispielfoto, Quelle: Fa. nkt cable)

Die Freileitung wird so gestaltet, dass sowohl zwischen den Leitern als auch zwischen geerdeten und spannungsführenden Teilen am Mast unter klimatischen und elektrischen Einwirkungen ausreichend sichere Abstände vorhanden sind. Die Höhe der Aufhängung der Leiter ist abhängig von den Geländebedingungen und den erforderlichen Abständen zum Boden oder Kreuzungsobjekten. Sie wird darüber hinaus durch die Spannweite und die elektrische Spannung der Leitung bestimmt. Die Auslegung und Errichtung der Freileitung erfolgt, entsprechend den technischen Erfordernissen und meteorologischen Bedingungen nach der gültigen Norm DIN EN 50341.

Die Regelabstände der Stützpunkte betragen ca. 250 - 350 m und lassen eine Anpassung der Leitung an landschaftliche Gegebenheiten zu. Der Mindestbodenabstand der Neubauleitung beträgt 7,5 m bei einer Seiltemperatur von 80°C und unter Beachtung einer Kriech-Reck-Dehnung (KRD) der Leiterseile von 40 Jahren. Dieser Bodenabstand ist größer als der von der Norm DIN EN 50341 geforderte (>6,00 m für 110-kV-Leitungen) und gewährleistet die Einhaltung der Grenzwerte nach der 26. BImSchV (100 μ T / magnetische Flussdichte und 5 kV/m / elektrische Feldstärke) im direkten Trassenbereich. Die erhöhten Bodenabstandswerte verbessern auch die Situation hinsichtlich der Schall-Immissionswerte unter den Seilen und garantieren den unproblematischen Einsatz landwirtschaftlicher Geräte im Leitungsbereich.

Die wesentlichen Bauelemente einer Freileitung sind:

- die Gründung (Fundament),
- die Maste,
- die Beseilung zwischen den Masten.

Die Gründungen und Fundamente sichern die Standfestigkeit der Maste. Sie haben die Aufgabe, die auf die Maste einwirkenden Kräfte und Belastungen mit ausreichender Sicherheit in den Baugrund einzuleiten und gleichzeitig den Mast vor kritischen Bewegungen des Baugrundes zu schützen. Die Dimensionierung der Fundamente hängt von mehreren Faktoren ab. Dazu zählen, die aufzunehmenden Zug-, Druck- und Querkräfte, die angetroffenen Baugrundverhältnisse am Maststandort und damit die Bewertung von Tragfähigkeit und Verformungsverhalten des Baugrunds in Abhängigkeit vom Fundamenttyp und der Dimensionierung des Tragwerkes. Als Gründung erhält jeder Mast ein Plattenfundament mit zylinderförmigen Fundamentköpfen an den Mastestkielen (Normalfall). Dies ist jedoch von den vorherrschenden Bodenverhältnissen abhängig und kann erst nach Vorliegen der Baugrunduntersuchungen endgültig festgelegt werden. Oberhalb der Erdoberkante sind, im Normalfall, nur die 4 Fundamentköpfe mit ca. 0,8 m Durchmesser und ca. 0,4 m Höhe sichtbar, siehe Abbildung 5.

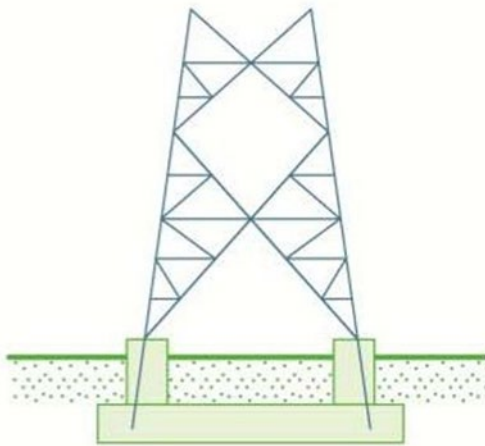


Abbildung 5: Beispiel Flachgründung Plattenfundament

Die Maste einer Freileitung dienen als Stützpunkte für die Leiterseilbefestigung und bestehen aus Mastschaft, Erdseilstütze (-spitzen), Querträgern (Traversen) und Fundament. Die Bauform, Bauart und Dimensionierung der Maste werden insbesondere durch die Anzahl der aufliegenden Stromkreise, deren Spannungsebene, die möglichen Mastabstände und standortspezifische Besonderheiten bestimmt. Hinsichtlich ihrer Funktion unterscheiden sich Maste in die Arten Abspann- und Tragmaste:

- Abspannmaste
nehmen die resultierenden Leiterzugkräfte in Winkelpunkten der Leitung auf. Sie sind mit Abspann-Isolatorketten in horizontaler Einbaulage ausgerüstet und für unterschiedliche Leiterzugkräfte in Leitungsrichtung ausgelegt. Sie bilden somit Festpunkte in der Leitung.
- Tragmaste
tragen im Gegensatz zum Abspannmast die Leiter auf geraden Strecken.

Sie übernehmen im Normalbetrieb keine Leiterzugkräfte und können daher relativ leicht dimensioniert werden. Tragmaste sind mit Isolatorketten in vertikaler Einbaulage ausgerüstet.

Vorzugsweise wird bei der Errichtung von neuen 110-kV-Freileitungen der Gestängtyp „Donau“ verwendet. Die Leiterseile sind hier, wie bei einem gleichschenkligen Dreieck, angeordnet. Ähnlich der Dreiecksanordnung bei einer Kabelverlegung, wirkt sich dies positiv auf die Symmetrie des Hochspannungsnetzes aus. Um die Leitungssysteme zusätzlich vor atmosphärischen Einwirkungen zu schützen, wird ein Blitzschutzseil mitverlegt. Befestigt wird dieses Seil an bis zu 7 m langen s. g. Erdseilspitzen am Mastkopf.

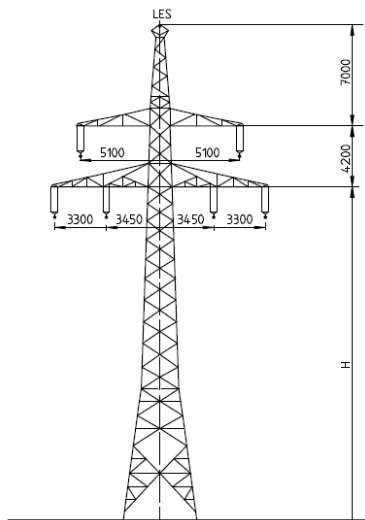


Abbildung 6: Donaumasttyp beispielhafte Darstellung (Quelle: TEN Konstruktionsunterlagen)

Die Leiterseile werden zwischen den Stützpunkten einer Freileitung frei gespannt und sind durch Isolatorketten von der Mastkonstruktion elektrisch getrennt. Es ist Stand der Technik die Energie in Form von Drehstrom zu übertragen. Kennzeichen der Drehstromtechnik ist das Vorhandensein von drei elektrischen Phasen je Stromkreis (System). Die Leiterseile stehen gegenüber der Erde und gegeneinander unter Spannung. Es handelt sich dabei um Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz.

Zur Isolation der Leiterseile gegenüber dem geerdeten Mast werden Isolatorketten eingesetzt. Mit diesen sind die Leiterseile an den Traversen der Stützpunkte befestigt. Die Ketten müssen die elektrischen und mechanischen Anforderungen aus dem Betrieb der Freileitungen erfüllen.

An Tragmasten werden die Leiter mit s. g. Trag- oder Hängeketten in vertikaler Einbaulage befestigt, die nur in geringem Maße Kräfte in Leitungsrichtung auf die Maste übertragen.

An Abspann- und Endmasten sind die Leiter an Doppelabspannketten mit zwei parallelen horizontal angeordneten Isolatoren befestigt, die die gesamten Leiterzugkräfte auf den Masten übertragen. Alle Ketten bestehen aus zwei tragfähigen Isolatoren, von denen jeder in der Lage ist, allein die mechanische Beanspruchung aus den Seilen aufzunehmen. Die Isolatorketten bestehen aus keramischen

Langstabilisatoren. Die Isolation der Leiterseile gegenüber der Erde und zu sonstigen Objekten wird durch Luftstrecken (Mindestabstände) sichergestellt, die nach den entsprechenden Vorschriften bemessen sind.

Neben den stromführenden Leiterseilen werden auf der Erdseilspitze s. g. Blitzschutzseile (Erdseil / Erdseil-Luftkabel) mitgeführt. Erdseile schützen, durch ihre Schirmwirkung, die stromführenden Leiterseile vor Blitzeinschlag, welcher eine Abschaltung des betroffenen Stromkreises hervorrufen kann. Der Blitzstrom wird mittels der Erdseile auf die benachbarten Maste und über diese weiter in den Boden abgeleitet.

Außerdem werden die mit integriertem Lichtwellenleiter ausgerüsteten Erdseil-Luftkabel auch zur innerbetrieblichen Informationsübertragung der Schutzsignale und Betriebszustände genutzt.

Gemäß DIN EN 50341 sowie VDE 0210 ist im Bereich der Leitung ein Schutzstreifen erforderlich. Der s. g. Schutzbereich dient dem Schutz der Freileitung und ist eine durch Überspannung der Leiterseile dauernd in Anspruch genommene Fläche, welche einen uneingeschränkten Zugang für Instandhaltungsmaßnahmen und den sicheren Betrieb der Freileitung, unter Berücksichtigung entsprechender Normen, sichert. Die Größe der Fläche ergibt sich aus der durch die Leiterseile überspannten, parabolischen Fläche, unter Berücksichtigung der möglichen seitlichen Auslenkung der Leiterseile bei Wind und des Schutzabstands nach DIN EN 50341 Teil 1 bis 4. Die Größe des Schutzbereichs ist abhängig von den spezifischen Gegebenheiten wie beispielsweise Spannfeldlänge, Traversenbreite und wird für jedes Spannfeld individuell festgelegt.

Bei einer Regelspannweite von ca. 350 m beträgt die Breite in Spannfeldmitte ca. 21 - 25 m nach beiden Seiten der Leitungsachse.

Ein Bewuchs bzw. eine Bebauung innerhalb dieses Schutzstreifens ist grundsätzlich, unter Berücksichtigung der entsprechenden Normen, möglich. Da nach DIN EN 50341 bestimmte Sicherheitsforderungen bestehen, ist dafür eine Genehmigung des Energieversorgungsunternehmens erforderlich.

4.2 Bauablauf

4.2.1 Bauablauf Kabellegung

Als Erstes wird der Arbeitsstreifen markiert, anschließend werden z. B. Feldfrüchte und Gras abgemäht und die Zufahrten zu den Arbeitsflächen hergestellt. Für die Baustraße kommen Holzbohlen, Baggermatten, Stahl-/Aluplatten oder ein Mineralgemisch auf Geotextil zum Einsatz. Für die Lagerung von Materialien, Baucontainern und Maschinen werden geeignete Flächen in der Nähe der Baustelle eingerichtet.

Nach Abschluss der vorbereitenden Maßnahmen beginnen die Tiefbauarbeiten sowie die Vorbereitungen für die Unterbohrungen.

Kabelanlagen können entweder in offener oder geschlossener Bauweise errichtet werden.

- Offene Bauweise:
Zunächst wird der Oberboden entlang des Kabelgrabens abgetragen und fachgerecht gelagert. Für den Transport der Materialien und der Baumaschinen, entlang des geplanten Kabelgrabens, wird eine Baustraße eingerichtet. Bei der offenen Verlegung beträgt die vorgesehene Grabentiefe ca. 1,60 m, von Erdoberkante (EOK) bis zur Grabensohle. Die Lagerung des Erdaushubs erfolgt neben der Trasse, getrennt nach Bodenschichten. Nach Fertigstellung des Grabens werden die Kabel in einer Dreiecksanordnung verlegt und zum Schutz gegen Beschädigungen und zur Sicherstellung der thermischen Bodeneigenschaften in einem Sandbett, mit einer Mächtigkeit von ca. 0,50 m, gelagert. Oberhalb der Einbettung sind die Kabel mit Abdeckplatten aus Kunststoff oder Beton gegen mechanische Beschädigungen zu schützen. Auf die Sandbettung wird der ursprüngliche Unterboden lagengerecht wieder eingebracht und mittels Rüttlern verdichtet. Vor Einbau des Mutterbodens wird ein farbiges Trassenband verlegt. Das Anlegen der Gräben kann partiell erfolgen. Unmittelbar nach Verlegung der Kabel werden die Gräben wieder verfüllt (Wanderbaustelle), was die Gefahr einer Wasserhaltung minimiert. Einzig die Muffengruben müssen vorerst offenbleiben. Nach Ende der Maßnahme werden die temporären Zuwegungen zurückgebaut.
- Geschlossene Bauweise:
Bereiche, in denen keine offene Bauweise möglich ist, werden mit Bohrungen unterquert. Hierfür kommen das Horizontal Directional Drilling (HDD)³-Verfahren und / oder das Horizontal-Pressbohrverfahren zum Einsatz. Das Horizontal Directional Drilling (HDD) zählt zu den unbemannten, steuerbaren Verfahren. Zur Vorbereitung muss jeweils eine kleine Grube auf der Startseite (Rig-Site) und auf der Zielseite (Pipe-Site) angelegt werden. Diese dienen dem besseren Einstecken in den Baugrund und dem Auffangen der aus dem Bohrloch austretenden Bohrspülung. Grundsätzlich laufen dabei drei wesentliche Verfahrensschritte ab:
 - Pilotbohrung,
 - Aufweitvorgang mit zeitgleicher Räumung,
 - Rohreinzug.

Während der Pilotbohrung wird das Bohrgestänge mit Hilfe eines Bohrgerätes in den Baugrund vorgetrieben und das Bodenmaterial am vorderen Ende entweder hydraulisch oder mechanisch gelöst. Nach dem die Zielgrube erreicht ist, sind abhängig von der Geologie eine oder mehrere Aufweitvorgänge unter Verwendung einer Bohrspülung notwendig. Der Rohreinzug kann entweder in einem Arbeitsschritt mit dem Aufweiten oder als separater Vorgang geschehen.

Im Gegensatz zum HDD-Verfahren handelt es sich bei dem Horizontal-

³ Quelle Wikipedia: Das Horizontalspülbohrverfahren ist eine Richtbohrtechnik für Horizontalbohrungen (englisch Horizontal Directional Drilling, HDD).

Pressbohrverfahren um ein nicht steuerbares Vortriebsverfahren. Zu Beginn ist vor und hinter dem zu querenden Hindernis die Herstellung einer Start- und Zielgrube erforderlich. Die Startgrube bietet Platz für die Installation einer hydraulischen oder pneumatischen Pressbohranlage, welche das Vortriebsrohr unter dem Hindernis hindurchdrückt und hierzu die Grubenwände als Presswiderlager nutzt. Um den Boden im Untergrund zu lösen und abzubauen, ist das Rohr mit einem Bohrkopf an der Spitze ausgestattet. Nachdem das Vortriebsrohr die Zielgrube erreicht hat, werden die Kabelschutzrohre eingezogen.

Erfolgt die Kabellegung direkt im Erdboden, muss der gesamte Abschnitt vom Beginn der Tiefbauarbeiten bis zur Verlegung offengehalten werden. Wegen der erforderlichen Tiefe des Grabens ist Verbau oder Anböschung je nach Baugrund notwendig.

Die Bauarbeiten zur Kabelverlegung ziehen sich über eine längere Zeit auf der gesamten Leitungstrasse hin. Ungünstige Witterung mit Regenfällen und starker Nässe kann die Vorbereitungen unbrauchbar machen. Bei der Verlegung einer Leerrohranlage können die Bauabschnitte kurzgehalten werden und man ist weitgehend unabhängig von der Witterung.

Nach Herstellung des Kabelgrabens / Rohranlage werden die Kabeltrommeln und Kabelzugmaschinen angeliefert. Die Kabel werden sukzessive verlegt und in den Muffengruben miteinander verbunden. Im Bereich der Muffen werden die Kabel versetzt nebeneinander verlegt. Für die Dauer der Muffenmontage ist ein Muffenverbau (Bauwerk) als Schutz vor Regen und Verschmutzung erforderlich.

Die Anzahl der Muffenstandorte zur Verbindung von jeweils zwei Kabelenden ergeben sich durch die eingeschränkten Lieferlängen bzw. die örtlichen Gegebenheiten des Trassenverlaufes.

Bei längeren 110-kV Kabelstrecken sind Muffenplätze in der Ausführung „Cross-Bonding“⁴ vorzusehen. Hierbei werden die Kabelschirme untereinander ausgekreuzt, um die Übertragungsverluste zu minimieren. Die notwendigen elektrischen Verbindungen werden oberirdisch in einem Kabelverteilerschrank montiert. Nach der Montage sind die Muffengruben wieder zu verfüllen, während die Kabelverteilerschränke oberirdisch dauerhaft erhalten und zugänglich sein müssen.

Nach Abschluss der Kabelarbeiten und Wiedereinbau des Aushubmaterials wird das Gelände wiederhergestellt. Dazu gehört auch der Rückbau von provisorischen Fahrspuren, neuen Zufahrten zu öffentlichen Straßen, temporären Verrohrungen und ausgelegten Arbeitsflächen. Die beanspruchten Straßen, Wege und Flurstücke

⁴ Bei längeren Wechselstromkabeln werden nach jedem zweiten bis dritten Teilabschnitt sogenannte Cross-Bonding-Muffen installiert. Hier wird der Kabelschirm des Kabels einer jeden Phase aus der eigentlichen Verbindungsmuffe herausgeführt. Diese werden phasenweise miteinander verbunden und geerdet. Das dient dazu die Übertragungsverluste durch induzierte Ströme im Kabelschirm gering zu halten und um Überspannungen zu verhindern. Die notwendigen elektrischen Verbindungen können oberirdisch in einem Kabelverteilerschrank oder oberflächennah in einem Schacht montiert werden. (Quelle: Bundesnetzagentur)

werden im Rahmen der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten in den Ausgangszustand zurückversetzt. Dies gilt insbesondere für den Bodenschichtaufbau, die Verwendung der einzubringenden Bodenqualitäten und die Beseitigung von Erdverdichtungen. Die Oberfläche wird der neuen Situation angepasst. Eventuell nach Abschluss der Arbeiten verbleibende Wegeertüchtigungen werden vom Vorhabenträger kompensiert.

4.2.2 Bauablauf Freileitungsmontage

Das Bauvorhaben beginnt mit dem Wegebau, denn alle geplanten Maststandorte und Montageflächen müssen mit Baufahrzeugen bzw. -geräten angefahren werden.

Die Anfahrt zum Baufeld erfolgt, soweit möglich, über öffentliche Straßen und Wege. Dabei ist zu beachten, dass unbefestigte Wege ausreichend belastbar und tragfähig sind. Unbefestigte Wege müssen bei Notwendigkeit ertüchtigt werden. Dies erfolgt z. B. durch Aufschottern. Die dauerhafte Vollversiegelung unbefestigter Wege ist nicht vorgesehen.

Sind keine Wege vorhanden, wie z. B. Ackerflächen oder Grünland, wird die Tragfähigkeit mittels Fahrwegplatten aus Holz (Baggermatten) oder Metall (Fahrbahnplatten) hergestellt. Die Platten liegen direkt auf dem Mutterboden auf und lassen sich nach Abschluss der Arbeiten, ohne nachhaltige Beeinträchtigung des Bodens, wiederaufnehmen bzw. entfernen. Im Anschluss wird der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt. Eine dauerhafte Befestigung der Mastzufahrten auf Ackerflächen und Grünland ist nicht vorgesehen.

Zur Montage der Maste werden im Bereich der geplanten Standorte temporäre Flächen benötigt. Die durchschnittliche Größe einer Arbeitsfläche beträgt etwa 1600m² pro Mast. Wie bei Ackerflächen werden Fahrwegplatten aus Holz oder Metall eingesetzt, die direkt auf dem Mutterboden liegen. Die Platten werden nach Abschluss der Arbeiten aufgenommen und der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt. Eine dauerhafte Befestigung von Montageflächen ist nicht vorgesehen.

Nach Fertigstellung des Wegebaus beginnen die Gründungs- bzw. Fundamentarbeiten. Dazu werden alle geplanten Maststandorte eingemessen und die Lage der Eckpunkte in der Örtlichkeit mit Pflöcken markiert. Die Baugruben werden mittels Bagger hergestellt. Das Bodenmaterial wird getrennt nach Schichten auf Bereitstellungsflächen zum Wiedereinbau gelagert. Überschüssiges Bodenmaterial (Unterboden) wird abgefahren und fachgerecht entsorgt. Zeitgleich erfolgt die Montage der Mastunterteile in den vorbereiteten Baugruben. Anschließend werden in traditioneller Bauweise die Fundamentverschalung, Bewehrung und der Beton eingebracht.

Im Anschluss erfolgt der Transport der Mastoberteile in Einzelteilen bzw. teilweise vormontiert an die Standorte. Hierzu werden den örtlichen Verhältnissen angepasste Fahrzeuge verwendet. Die einzelnen Schüsse der Gittermaste werden vor Ort vormontiert. Dazu ist lediglich der Einsatz von leichtem Hebegerät erforderlich. Nach ausreichender Aushärtung und Tragfähigkeit der Gründungen erfolgt das

Aufstellen der einzelnen Mastschüsse sowie die Montage zu einem vollständigen Mast mit Hilfe eines Mobilkrans. Die Größe des Mobilkrans ist abhängig von der Masthöhe und dem Mastgewicht. Um die erforderlichen Anfahrtswege gering zu halten, sind die Mastmontagen möglichst nacheinander in Arbeitsrichtung herzustellen.

Die Isolatorketten werden i. d. R. aus mehreren Einzelbauteilen auf dem Lagerplatz vormontiert und mit leichten geländegängigen Fahrzeugen zu den Maststandorten transportiert. Dort werden sie noch am Boden an die vormontierten Querträgern des Mastes angebaut. Die Querträger werden zusammen mit den Isolatorketten mittels Mobilkran während der Mastmontage am Mastschaft befestigt.

Der Seilzug wird nach Fertigstellung der Mastmontagen nacheinander in den einzelnen Abspannabschnitten realisiert. Größe und Gewicht der eingesetzten Geräte sind hierbei vergleichsweise gering. Die Arbeiten finden überwiegend an den Abspannmasten der Abschnitte statt. Von hier aus werden die auf Trommeln angelieferten Leiterseile mit Hilfe eines Vorseiles schleiffrei (ohne Bodenberührung) und unter verminderter Zugspannung zwischen Trommel- und Windenplatz verlegt. Das Einziehen erfolgt dabei über, an den Isolatorketten der Masten befestigte, Laufräder innerhalb des Abspannabschnittes. Anschließend beginnen die Arbeiten zum Einregulieren der Leiterseile auf die erforderliche Sollzugspannung. Dies gewährleistet die notwendigen Bodenabstände (vgl. Abbildung 7). Zum Schluss werden die Laufräder entfernt und die Seile an den Isolatoren der Trag- und Abspannmasten eingeklemmt (befestigt).

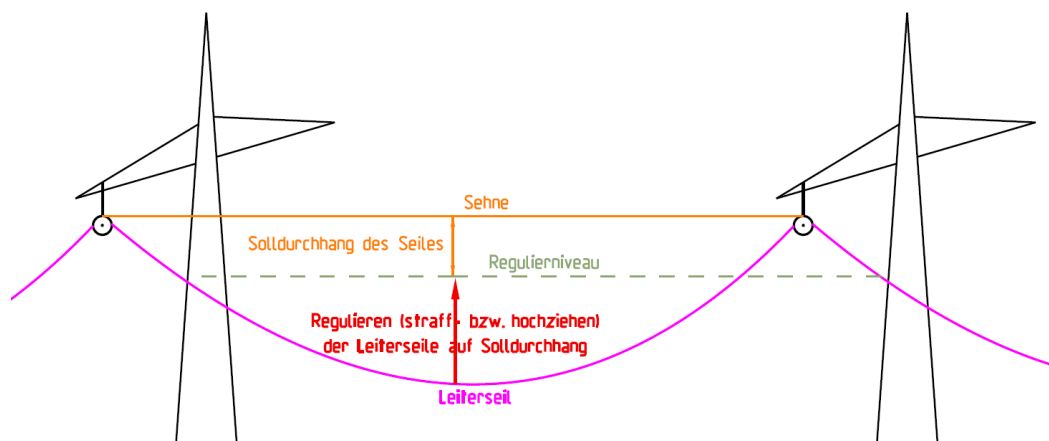


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Seilregulierung (Quelle: TEN Baurichtlinie)

5. Dingliche Sicherung

Für den Schutzstreifen einer Kabeltrasse bzw. einer Freileitung incl. Maststandorte und Flächenüberspannungen sowie für die Einräumung von Geh- und Fahrrechten sind mit den betreffenden Eigentümern Grunddienstbarkeiten bzw. Nutzungsvereinbarungen abzuschließen und entsprechende Entschädigungen zuzahlen. Es ist kein Erwerb von Grundeigentum vorgesehen.

Flurschäden, infolge der Bauvorbereitung und -durchführung, beseitigt die TEN oder vergütet diese nach den aktuellen Entschädigungsätzen des Thüringer Bauernverbandes.

Eine „Grunderwerbsunterlage“ soll eine Zusammenstellung der durch den Leitungsneubau betroffenen Flurstücke beinhalten. Darin wird zwischen einer dauerhaften sowie einer temporären Beanspruchung unterschieden. Die Aufstellung zur dauerhaften Inanspruchnahme soll als Entschädigungsgrundlage für die Dienstbarkeiten dienen, während die für die temporären Flächen den vorübergehenden Flächenentzug für den Nutzer widerspiegelt. Die Aufstellung des temporären Flächenentzuges dient jedoch nicht für eine allgemeine Entschädigung der Flurschäden. Die Unterlage für geplante A/E-Maßnahmen weist den Bedarf von sich außerhalb befindenden bzw. weiter entfernten Flächen aus.

6. Maßgaben aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG)⁵

6.1 Elektromagnetische Felder

Durch Verwendung bestimmter Technologien, z. B. Stromversorgungsnetz und Mobilfunk, entstehen in der Umwelt des Menschen elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Diese Felder lassen sich durch ihre Stärke (Amplitude), ihre Schwingung (Wellenlänge) sowie Schwingungszahl (Frequenz) beschreiben. Unterschieden werden hoch- und niederfrequente Felder, diese gehören zur nicht-ionisierenden Strahlung.

Niederfrequente Wechselfelder liegen im Bereich von 0,1 Hz bis 30 kHz (z. B. DB mit 16,7 Hz, öffentliches Netz mit 50 Hz).

Hochfrequente Wechselfelder decken den Bereich von 30 kHz bis 300 GHz ab (wie Rundfunk, Mobilfunk, Fernsteuerungen, Mikrowellen).

Bei jeder Nutzung von elektrischem Strom werden elektrische und magnetische Felder erzeugt. Bei der Straßenbahn oder bei der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) haben wir es mit statischen elektrischen und magnetischen Feldern (Gleichfelder) zu tun. In der Umgebung von elektrischen Geräten, Stromkabeln, Hochspannungsleitungen und vom Bahn-Stromnetz treten niederfrequente elektrische und magnetische Felder (Wechselfelder) auf.

Gleichfelder (Frequenz gleich Null) und niederfrequente Felder haben elektrische und magnetische Wirkungen, die getrennt voneinander betrachtet werden.

In der Umgebung von Drehstrom-Freileitungen und Kabeln treten niederfrequente elektrische und magnetische Felder auf, wobei folgende Fakten gelten:

- das elektrische Feld steigt mit der Spannungshöhe, während das Magnetfeld zum fließenden Strom proportional ist.

⁵ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830) zuletzt geändert durch Gesetz vom 24.09.2021 (BGBl. I S. 4458) mit Wirkung vom 01.10.2021

- beide Feldarten sind getrennt zu betrachten und hängen im Nahbereich von der Mastkopfform der Freileitung bzw. der Verlegeart und -tiefe der Kabel ab.
- die Felder werden mit zunehmender Entfernung schnell schwächer.

Elektrische Felder bilden sich, wenn zwischen zwei Körpern (Leitern) eine Spannung anliegt, auch wenn kein Strom fließt. Entsprechend der Größe seiner elektrischen Ladung wird auf einen Körper im elektrischen Feld eine Kraftwirkung ausgeübt. Maß für die Stärke und Richtung dieser Kraftwirkung ist die elektrische Feldstärke E , deren Betrag in Volt pro Meter (V/m) angegeben wird. Elektrische Felder lassen sich leicht abschirmen. Je nachdem, ob die Leiter ihre Polarität beibehalten (Gleichstrom) oder wechseln (Wechselstrom bzw. Drehstrom), wird zwischen Gleich- und Wechselfeldern unterschieden.

Auf der Erde herrscht ein natürliches Gleichfeld von 130 – 270 V/m, verursacht durch aufgeladene und teilweise leitende Schichten in der Erdatmosphäre.

Magnetische Felder werden (abgesehen von Dauermagneten) durch einen fließenden Strom hervorgerufen. Die magnetische Feldstärke H kennzeichnet Stärke und Richtung des Magnetfeldes, ihre Maßeinheit ist Ampere pro Meter (A/m). Neben der magnetischen Feldstärke beschreibt auch die magnetische Flussdichte B die Stärke des Magnetfeldes, Maßeinheit ist Tesla (T). Gebräuchlich ist die Maßeinheit Mikrottesla (μT). Für die Umrechnung der magnetischen Flussdichte in die magnetische Feldstärke gilt in Luft oder biologischem Gewebe - 1 μT entspricht 0,8 A/m. Magnetische Felder lassen sich nur schwer abschirmen. Auch hier wird zwischen Gleich- und Wechselfeldern unterschieden. Letztere rufen Ströme im menschlichen Körper hervor. Diese nehmen mit steigender Frequenz zu und führen zur Erwärmung.

Auf der Erde herrscht ein natürliches Gleichfeld von 30 – 60 μT , bedingt durch den magnetischen Nord- und Südpol.

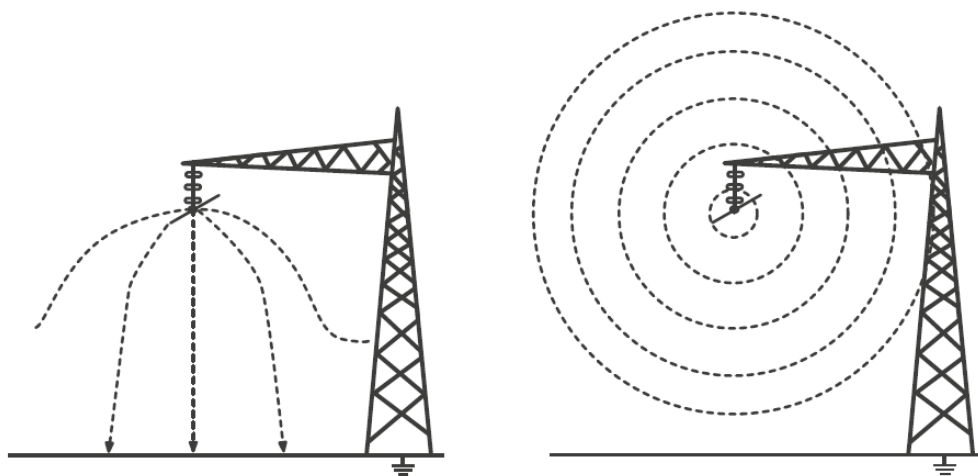


Abbildung 8: Elektrisches (links) und magnetisches Feld (rechts) in der Umgebung eines Freileitungsleiters (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS))

Aus diesem Grund hat der Gesetzgeber in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Gefahren durch elektrische und magnetische Felder von Gleichstrom- und Niederfrequenzanlagen erlassen. Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind Hochspannungsleitungen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich auf Grundstücke, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung

- der Grenzwert für die elektrische Feldstärke von 5 kV/m und
- der Vorsorgewert für die magnetische Feldstärke von 100 Mikrottesla (μT)

nicht überschritten werden. Weiterhin gilt ein Minimierungsgebot für Niederfrequenzanlagen in der Nähe von Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Kinderhorten, Spielplätzen oder ähnlichen Einrichtungen.

6.2 Betriebsbedingter Lärm

Gemäß § 1 BImSchG sind Menschen grundsätzlich vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche zu schützen. Derartige Geräusche können sowohl vom Verkehr auf einem Betriebsgelände her entstehen als auch durch die Produktion oder Herstellung in einem Betrieb („Gewerbelärm“). Dass Arbeiten nicht ohne Geräusche von sich gehen können, ist selbstverständlich, aber dennoch muss die Nachbarschaft vor derartigem Lärm geschützt werden. Bei bestehenden Anlagen ist zu beachten, dass auch noch nach Erteilung der Genehmigung nachträgliche Anordnungen erlassen werden können, um Pflichten gemäß dem BImSchG zu erfüllen. Welche Pflichten dies sein können, wird gemäß der 6. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (TA Lärm) geregelt, welche ihre Rechtsgrundlage aus § 48 BImSchG erhält. Demzufolge ist der maßgebliche Ort für die Messung einer Immission die Stelle, an der der Lärm beurteilt wird, welcher von einer Anlage ausgeht. Beispielsweise ist dieser Ort jenes Wohnhaus, welches dem gewerblichen Betrieb bzw. der technischen Anlage am nächsten steht.

Hinsichtlich der Lärmbeurteilung durch Korona-Effekte⁶ wird in „LAI-Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder“ vom 23.10.2014 (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) auf die TA Lärm verwiesen.

Folgende Tabelle beschreibt die einzuhaltenden Immissionsrichtwerte zur Gebietsausweisung entsprechend der 6. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (TA Lärm).

⁶ Teilentladungen entlang der unter Spannung stehenden Leiter einer Freileitung

Ziffer TA Lärm	Ausweisung	Immissionsrichtwert tags (6:00 bis 22:00 Uhr)	Immissionsrichtwert nachts (22:00 bis 6:00 Uhr)
6.1 a	Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
6.1 b	Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
6.1 c	Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
6.1 d	Allgemeine Wohngebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
6.1 e	Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
6.1 f	Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Tabelle 1 Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden (Quelle: 6. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (TA Lärm))

Hauptursache von betriebsbedingten Geräuschen an Freileitungen sind Korona-Effekte. In der DIN SPEC⁷ 8987 von Juli 2017 (DKE-Arbeitskopie) „Akustik — Korona-Geräusche von Höchstspannungsfreileitungen“ wird der physikalische Zusammenhang zur Entstehung von Korona-Geräuschen genauer erklärt.

Die Ursache von Korona-Geräuschen an Freileitungen sind Teilentladungen (in diesem Zusammenhang auch Korona-Entladungen genannt) entlang der unter Spannung stehenden Leiter einer Freileitung. Diese Teilentladungen werden durch hohe elektrische Feldstärken auf der Oberfläche der Leiter, die s. g. Randfeldstärken hervorgerufen. Die Größe der Randfeldstärke und somit der Geräuschemission hängt von folgenden Merkmalen ab:

- dem Durchmesser der Leiterseile,
- der Verwendung von Bündelleiter (je Phase mehr als ein Leiterseil),
- der Oberflächenbeschaffenheit der Leiterseile,
- der Abstände zwischen den Leiterseilen,
- der anliegenden elektrischen Spannung,
- den äußeren Wetterbedingungen.

Allgemein hängt die Randfeldstärke direkt von der anliegenden elektrischen Spannung ab. Je höher diese ist, desto höher ist wiederum auch die Randfeldstärke auf einem Leiterseil. Durch die Verwendung von Leiterseilen mit großem Durchmesser und/oder in der Ausführung als Bündelleiter kann die Randfeldstärke verringert werden. Entsprechend der DIN SPEC 8987 ist davon auszugehen, dass 110-kV-Freileitungen in der Regel geringe Randfeldstärken <10 kV/cm aufweisen, welche zu keiner nennenswerten Geräuschemission führen. Diese Feststellung deckt sich mit aktuell gängiger internationaler Fachliteratur, z. B. dem Fachbuch „EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200kV and Above“ von 2005 (Third Edition,

⁷ Eine DIN SPEC ist ein Standarddokument, das unter Leitung von DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., nach dem PAS-Verfahren erarbeitet wird. Publicly Available Specification, abgekürzt PAS, heißt öffentlich verfügbare Spezifikation. Eine PAS ist zwar eine öffentliche Anforderung, aber noch keine Norm. Quelle: Wikipedia, Artikel zuletzt am 15. April 2020 aktualisiert.

Electric Power Research Institute (EPRI), USA) Abschnitt 10.1 Absatz 1 oder dem Fachbuch „Freileitungen, Planung, Berechnung, Ausführung“ (Ausführung; F. Kießling, P. Nefzger, U. Kaintzyk; Springer-Verlag, Berlin; 5.Auflage 2001) Abschnitt 15.2.2 Seite 517. Im letzteren Fachbuch wird nur eine Relevanz der Geräuschemissionen ab einer Spannung von 220-kV gesehen. Hier heißt es:

Zitat: „Bei Nebel und Regen neigen Freileitungen mit Spannungen größer 220 kV je nach Bauart gelegentlich zu Geräuschemissionen, die 40 bis 50 dB(A) betragen können [...]. Sie nehmen aber mit zunehmendem Abstand von der Leitung rasch ab, so dass Beeinträchtigungen durch diese Koronageräusche nur in seltenen Fällen zu befürchten sind.“⁸

6.3 Baulärm

Keine Gültigkeit hat die TA Lärm hingegen bei Baulärm. Diesbezügliche Regelungen werden gemäß der AVV Baulärm (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970) getroffen. Durch gewerbliche Bauarbeiten verursachte Lärm wird als Baulärm bezeichnet. Lärm durch Bauarbeiten in der Wohnung, sofern die Arbeiten von einer Firma durchgeführt werden, fällt ebenfalls in diese Kategorie. Kein Baulärm ist dagegen der Lärm, der durch Bauarbeiten von Privatpersonen verursacht wird (Heimwerkertätigkeiten). Zu den besonders lästigen Lärmquellen gehören Baustellen. Denn hier werden Baumaschinen im Freien und häufig in unmittelbarer Nähe zu Wohnungen eingesetzt. Baulärm lässt sich durch Lärm-arme Baumaschinen, eine günstige Aufstellung der Maschinen bzw. durch Abschirmmaßnahmen spürbar verringern. Auch durch eine vorsorgende „Lärmplanung“ kann der Baulärm vermindert werden. Ob bei dem Betrieb einer Baustelle schädliche Umwelteinwirkungen bei den Anwohnern entstehen, wird nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm - Geräuschimmissionen (AVV Baulärm) beurteilt. Die AVV Baulärm enthält neben Immissionsrichtwerten das Verfahren zur Ermittlung des Beurteilungspegels.

Immissionsrichtwerte sind entsprechend AVV Baulärm wie folgt festgelegt:

⁸ Quelle: Fachbuch „Freileitungen, Planung, Berechnung, Ausführung“ (Ausführung; F. Kießling, P. Nefzger, U. Kaintzyk; Springer-Verlag, Berlin; 5.Auflage 2001)

Ziffer AVV Baulärm	Ausweisung	Immissionsricht- wert tags (7:00 bis 20:00 Uhr)	Immissionsricht- wert nachts (20:00 bis 7:00 Uhr)
a	Gebiete, in denen nur gewerbliche oder industrielle Anlagen und Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	70 dB(A)	70 dB(A)
b	Gebiete, in denen vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	65 dB(A)	50 dB(A)
c	Gebiete mit gewerblichen Anlagen und Wohnungen, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind,	60 dB(A)	45 dB(A)
d	Gebiete, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind,	55 dB(A)	40 dB(A)
e	Reine Wohngebiete Gebiete, in denen ausschließlich Wohnungen untergebracht sind,	50 dB(A)	35 dB(A)
f	Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten.	45 dB(A)	35 dB(A)

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden (Quelle: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970 (AVV Baulärm))

Beim Tiefbau ist die Lärmproblematik häufig weitreichender, weil der Maschineneinsatz intensiv ist und kaum Lärm-arme Alternativen vorhanden sind. Lärm entsteht allerdings weniger durch die Motoren als vielmehr durch die Tätigkeit einer Maschine. Eine Rüttelplatte wirkt auf den Untergrund ein und erzeugt dabei Lärm, unabhängig vom Antrieb. Dazu weisen Baustellen bei lärmintensiven Abbruch-, Erdbau- und Gründungsarbeiten so gut wie nie Räume oder Bauten auf, die den Schall abschirmen. Organisatorische Maßnahmen sollen den Lärmpegel in der Umgebung der Baustelle senken.

Abbildung 9 zeigt den Schallpegel verschiedener Geräusche.

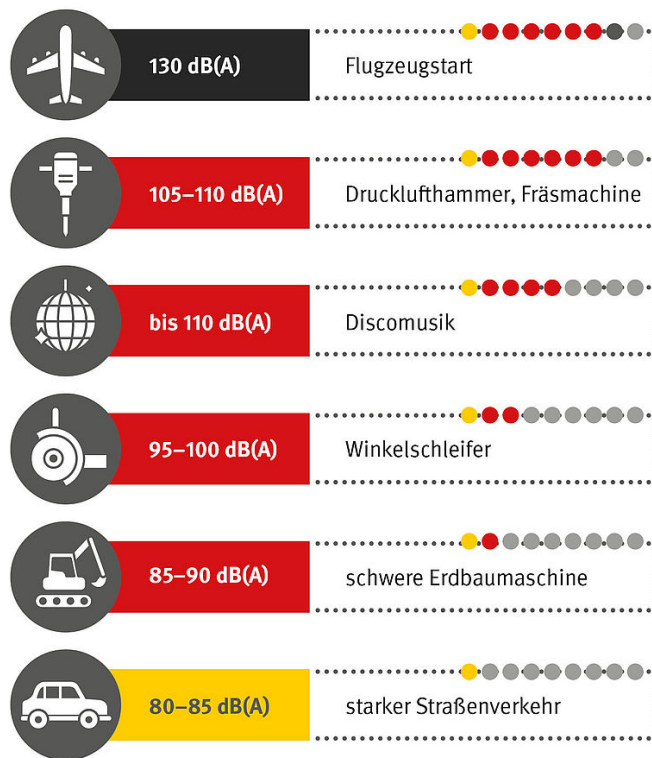


Abbildung 9: Lärm am Bau im Vergleich: Schallpegel verschiedener Geräusche in Dezibel [dB (A)]
 (Quelle: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Bildquelle: Florian Perez – xmedias)

Alle Beteiligten der Baubranche sind gefordert, Beschäftigte und Anwohner professionell vor Baulärm zu schützen. Bauherren haben sich nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Baulärm zu richten, weiterhin macht die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung für Unternehmen klare Vorgaben. Gemäß AVV Baulärm, Anlage 5, Absatz IV verringert sich der Pegel bei idealer Feldausbreitung mit zunehmender Entfernung. Bei einem Abstand von 300 m zur Schallquelle nimmt der Schallpegel des Baulärms bereits um ca. 30 dB ab.

Grundsätzlich sollten bereits in der Bauvorbereitung Lärmschutzaspekte berücksichtigt werden, um die Lärmbelastung möglichst gering zu halten. Hierzu gehören folgende Maßnahmen:

- frühzeitige Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten in Fragen der Baulärmbekämpfung,
- Berücksichtigung der Lärmschutzaufgaben in Ausschreibung und Angebot,
- Einsatz von fortschrittlichen lärmarmen Bauverfahren und –maschinen,
- Berücksichtigung des Immissionsrichtwertes für das betroffene Gebiet bei der Gestaltung des Bauablaufes,
- Zusammenlegen lärmintensiver Arbeiten mit sich anschließenden ausreichend langen Lärmpausen,
- Einsatz von lärmarmen Baumaschinen in besonders schutzbedürftigen Gebieten und bei nächtlichem Betrieb,
- Bauzeitenregelungen.