

2. Teil: Technische Grundlagen und Variantenvergleich

Das Recht der leitungsgebundenen Energieinfrastruktur lässt sich ohne einen – zumindest überblicksartigen – Exkurs in die technischen Grundlagen der Übertragung elektrischer Energie nicht verstehen, weil – wie es Andreas Klees⁵¹ treffend darlegt – die Charakteristika der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität auch für die Ausgestaltung des Rechts von Relevanz sind.

Im Folgenden wird daher der Versuch unternommen, einen Einblick in den Aufbau und die Funktion der Elektrizitätsnetze sowie die Bau- und Verlegearten von Erdkabeln zu geben, bevor die Ausführungsvarianten Freileitung und Erdkabel miteinander verglichen werden.

A. Aufbau und Funktion der Elektrizitätsnetze

Ein Netz ist „die Gesamtheit aller verbundenen Betriebsmittel gleicher Nennspannung“⁵², die für die Übertragung und die Verteilung der elektrischen Energie – die wegen ihrer nur begrenzten Speicherbarkeit genau dann zur Verfügung stehen muss, wenn sie nachgefragt wird⁵³ – notwendig sind, „wie Freileitungen, Kabel, Umspannanlagen und Schaltanlagen.“⁵⁴

Die Höhe der für den Transport, die Übertragung und die Verteilung elektrischer Energie gebräuchlichen elektrischen Spannungen⁵⁵ wird „stark von der Übertragungsentfernung und der zu übertragenden Leistung bestimmt“⁵⁶, weil „es für jede zu übertragende Leistung einen optimalen Strom und eine optimale Spannung gibt“⁵⁷.

Die Netze lassen sich nach Spannungsebenen einteilen, wobei vier hierarchische Stufen unterschieden werden.⁵⁸ Gemäß der Legaldefinition in § 2 Nr. 6 StromNEV sind dies die Höchst-, Hoch-, Mittel- oder Niederspannung.

⁵¹ Klees, Einführung in das Energiewirtschaftsrecht, S. 53.

⁵² Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 435.

⁵³ Klees, Einführung in das Energiewirtschaftsrecht, S. 54 m. w. N.

⁵⁴ Schäferhoff, Kapazitätserweiterung des Netzes nach dem EEG, S. 9; zuvor bereits Knies/Schierack, Elektrische Anlagentechnik, S. 61.

⁵⁵ Kießling/Nefzger/Kaintzyk, Freileitungen, S. 6.

⁵⁶ Oeding/Oswald, Elektrische Kraftwerke und Netze, S. 402.

⁵⁷ Herold, Elektrische Energieversorgung 1, S. 16.

⁵⁸ Vgl. Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 435; Hofmann/Oswald, Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Bundeslandes Brandenburg zum Vergleich Erdkabel – Freileitung im 110-kV-Hochspannungsbereich, Hannover, den 16.12.2010, S. 5.

Niederspannungsnetze sind Netze mit Nennspannungen von 0,4 und 0,6 kV.⁵⁹ Sie beziehen ihre Energie aus dem vorgelagerten Mittelspannungsnetz und verteilen sie an die Endabnehmer (Haushalte, Handel, Gewerbe etc.).⁶⁰

Mittelspannungsnetze von 1 bis 60 kV nehmen die Aufgabe der örtlichen Versorgung von kleinen Gemeinden, einzelnen Industriebetrieben und größeren Einzelabnehmern, z. B. Kaufhäusern und Verwaltungsgebäuden, wahr.⁶¹

Die Hochspannungsnetzebene mit einer Spannung von 60 bis 125 kV⁶² besteht insbesondere aus Netzen mit der Spannungsebene 110 kV.⁶³ Sie dient der regionalen Verteilung der elektrischen Energie und stellt die Verbindung zwischen Verbundnetz und Verteilnetz dar.⁶⁴ Hochspannungsnetze weisen meist eine strahlenförmige Topologie auf, sodass sie – lediglich auf höherem Leistungsniveau und über größere Entfernung – die gleiche Funktion wie Verteilnetze aufweisen.⁶⁵ Häufig werden sie aber auch vermascht betrieben, sodass ihnen auch Transportfunktion zukommt.⁶⁶ Je nach Topologie – vermascht oder strahlenförmig – werden 110-kV-Netze entweder in die Klasse der Übertragungsnetze oder der Verteilnetze eingeordnet.⁶⁷

Die Ebene des Höchstspannungsnetzes wird entsprechend ihrer Funktion als Transportnetzebene bezeichnet.⁶⁸ Gebräuchlich ist ebenfalls die Bezeichnung „Übertragungsnetz“.⁶⁹ „Entsprechend § 3 Nr. 32 EnWG lässt sich „Übertragungsnetz“ daher als Oberbegriff für das Höchstspannungsnetz und das Hochspannungsnetz verwenden, sofern ihm Transportfunktion zukommt.

Die Höchstspannungsnetzebene besteht in Deutschland üblicherweise aus Netzen mit einer Nennspannung von 220 oder 380 kV und übernimmt die Aufgabe des Verbundbetriebs, einschließlich der Interkonnexion mit den

59 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 23.

60 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 23; Oeding/Oswald, Elektrische Kraftwerke und Netze, S. 415; Thomas, Unternehmenszusammenschlüsse in der Energieversorgung, S. 11.

61 Kießling/Nefzger/Kaintzyk, Freileitungen, S. 7; Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 511; Schäferhoff, Kapazitätserweiterung des Netzes nach dem EEG, S. 9.

62 Bundesnetzagentur, Monitoringbericht 2011, S. 233 (im Monitoringbericht 2012 der Bundesnetzagentur [dort S. 294] wird der Bereich zwischen > 72,5 kV und ≤ 125 kV als Hochspannungsnetzebene bezeichnet); nach Schäferhoff, Kapazitätserweiterung des Netzes nach dem EEG, S. 9, liegt die Spannung von Hochspannungsnetzen zwischen 60 kV und 150 kV.

63 Vgl. Kießling/Nefzger/Kaintzyk, Freileitungen, S. 7; Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 435.

64 Kießling/Nefzger/Kaintzyk, Freileitungen, S. 7.

65 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 23.

66 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 23.

67 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 24.

68 Siehe Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 435.

69 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 24.

Höchstspannungsnetzen der Nachbarländer und des Energietransports über große Entfernungen⁷⁰, mithin der „Großraumversorgung“.⁷¹

Zu beachten ist, dass die Terminologie nicht einheitlich verwendet wird. Der Begriff „Hochspannungsfreileitungen“ i. S. d. § 43 Satz 1 EnWG meint sowohl 110- als auch 220-/380-kV-Leitungen.⁷² Sofern nicht ausdrücklich anders kenntlich gemacht, orientiert sich diese Arbeit an der in Ziff. 2 und 4 der Anlage 2 zur StromNEV⁷³ vorgenommenen Unterscheidung zwischen Höchstspannungsnetz (≥ 380 und 220 kV) und Hochspannungsnetz (≥ 110 kV, < 220 kV).⁷⁴

Die für die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie verwendete Stromform ist in der Regel der Drehstrom.⁷⁵ Ein vermaschtes Gleichstrom-Netz (auch „Overlay-Netz“, „Stromautobahnen“⁷⁶ oder „Ultranet“⁷⁷ genannt) befindet sich noch im Stadium der Forschung und Entwicklung.⁷⁸ Der Aufbau eines Gleichstromnetzes mit mehreren verschiedenen Spannungsebenen gestaltet sich insbesondere deshalb schwierig und ist im Vergleich zu Drehstromsystemen deshalb viel aufwendiger, weil Gleichströme nicht direkt transformiert werden können und sich mit konventionellen Schaltgeräten viel schwerer ausschalten lassen als Wechselströme.⁷⁹ So wird die Realisierung von solchen „Stromautobahnen“ noch einige Zeit in Anspruch nehmen, auch wenn vielversprechende Ansätze (z. B. Gleichstrom/Wechselstrom-Hybridmasten)⁸⁰ vorhanden sind.

Die Hochspannungs-Gleichstromübertragungstechnik (HGÜ) kommt derzeit nur in einigen Spezialfällen und bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen

70 Kießling/Nefzger/Kaintzyk, Freileitungen, S. 7; Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 435; König/Kühling/Rasbach, Energierecht, S. 41, Rn. 31; vgl. Theobald, in: Danner/Theobald, Energierecht, § 12 EnWG, Rn. 1; Moench/Ruttlöff, NVwZ 2011, 1040 (dort. Fn. 11).

71 Ströbele/Pfaffenberger/Heuterkes, Energiewirtschaft, S. 233.

72 Vgl. Weyer, Netzausbau in Deutschland – Rechtlicher Rahmen und Handlungsbedarf, Arbeitspapier 05/2011 des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, S. 4; Moench/Ruttlöff, NVwZ 2011, 1040, 1044.

73 In dem Sinne auch Weyer, Netzausbau in Deutschland – Rechtlicher Rahmen und Handlungsbedarf, Arbeitspapier 05/2011 des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, S. 4.

74 So auch Pielow, in: Säcker: Berliner Kommentar zum Energierecht, 2. Aufl., § 43, Rn. 12 a.

75 Crastan, Elektrische Energieversorgung 1, S. 17.

76 Vgl. Energiekonzept der Bundesregierung, BT-Drs. 17/3049, S. 10.

77 Diesen Namen soll das geplante Gleichstromnetz tragen, das die beiden Übertragungsnetzbetreiber Amprion und Transnetz BW gemeinsam betreiben wollen (vgl. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 24.04.2012, S. 11: „Ein Stromsprinter soll neue Netze überflüssig machen“); vgl. auch Bundesnetzagentur, Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom 2012, S. 119.

78 Crastan/Westermann, Elektrische Energieversorgung 3, S. 461.

79 Herold, Elektrische Energieversorgung 1, S. 21.

80 Vgl. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 02.05.2012, S. T 5: „Auch Gleichstrom am Mast“.

zum Einsatz⁸¹, weil sich HGÜ-Leitungen nicht einfach in das bestehende Drehstromnetz integrieren lassen.⁸²

Insbesondere für den Einsatz von Erdkabeln ist die HGÜ-Technik aber eine gangbare Option, weil bei ihrem Einsatz nicht so hohe Übertragungsverluste entstehen wie bei dem Einsatz von Drehstromerdkabeln, deren Isolierung zu hohen Energieverlusten führt.⁸³

B. Bau- und Verlegearten von Erdkabeln

Erdkabel sind „[u]nterirdisch, im Erdreich, in Schächten oder in Rohren verlegte, isolierte Leiter eines Elektrizitätsnetzes.“⁸⁴

Seit Beginn der Elektrifizierung gibt es zwei Arten von Leitungssystemen, Erdkabel und die auf Masten verlegte Freileitung.⁸⁵ So werden Starkstromkabel in Deutschland seit 1880 eingesetzt.⁸⁶ Hochspannungserdkabel mit Kunststoffisolierung sind seit 1967 im Einsatz.⁸⁷ Das erste deutsche Höchstspannungserdkabel wurde 1978 in Berlin in Betrieb genommen.⁸⁸

Die Standardtechnologie für Erdkabel im Höchstspannungsnetz sind heute vernetzte Polyethylenkabel (VPE-Kabel).⁸⁹ Gasisolierte Leiter (GIL) gelten bislang als noch unzureichend erforscht und werden daher aus Gründen der Versorgungssicherheit gemäß § 49 Abs. 1 EnWG noch nicht eingesetzt.⁹⁰ Daneben sind Hochdruckölkabel sowie Gasaußendruckkabel im Einsatz.⁹¹

Bauarten der Hochspannungserdkabel sind Niederdruckölkabel (zur Isolierung wird ein Papier-Öl-Dielektrikum eingesetzt), Gasinnendruckkabel, Gasaußendruckkabel und VPE-Kabel, die heute standardmäßig eingesetzt werden.⁹²

81 Schwab, Elektroenergiesysteme, S. 435; Lang/Rademacher, RdE 2013, 145, 146.

82 Spieler, NVwZ 2012, 1139.

83 Spieler, NVwZ 2012, 1139, 1140.

84 Unterrichtung durch die Bundesregierung, Tätigkeitsbericht 2008/2009 der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen und Stellungnahme der Bundesregierung vom 19.04.2012, BT-Drs. 17/9400, S. 81.

85 Bohn/Marschall, in: Fischer (Hrsg.), Die Geschichte der Stromversorgung, S. 108.

86 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 17.

87 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 63.

88 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 183.

89 Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung, Technikfolgenabschätzung (TA), Regenerative Energieträger zur Sicherung der Grundlast in der Stromversorgung vom 30.08.2012, BT-Drs. 17/10579, S. 23.

90 Säcker, Der beschleunigte Ausbau der Höchstspannungsnetze als Rechtsproblem, S. 155.

91 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 64.

92 Vgl. Cichowski, Kabelhandbuch, S. 59 ff.

Hoch- und Höchstspannungs-Drehstrom- und Gleichstromerdkabel werden entweder direkt im Erdreich, im Stahlrohr oder via Höchstspannungskabelanlage verlegt.⁹³

Die konventionelle Kabelverlegung erfolgt mittels Aushubs eines Kabelgrabens und anschließendem Kabelzug.⁹⁴ Empfohlen ist gemäß DIN VDE 0276, die Erdkabel mindestens 60 cm und unter Straßenfahrbahnen mindestens 80 cm unter der Erdoberfläche zu verlegen.⁹⁵ VPE-Höchstspannungserdkabel werden sogar in ca. 1,5 m Tiefe verlegt.⁹⁶ Während Kabel mit einer Nennspannung von maximal 110 kV eingepflügt werden können, ist dies für 380-kV-Kabel bislang nicht möglich.⁹⁷

Die Schutzstreifen bei Drehstromerdkabeln sind je nach Anzahl der verlegten Kabelsysteme etwa 13 bis 21 m breit.⁹⁸ Dies entspricht in etwa dem Regelquerschnitt einer zweispurigen für sehr hohe Verkehrsbelastungen ausgelegten Bundesstraße mit Mittelstreifen.⁹⁹

Die Kabelverlegung im Stahlrohr kann in Städten, Industrieanlagen, Brücken oder in Bergsenkungsgebieten ein probates Mittel sein.¹⁰⁰

Eine Höchstspannungskabelanlage befindet sich in Berlin. Es handelt sich um einen 6,3 km langen, in einer Tiefe von 25 bis 30 m unter der Geländeoberfläche verlaufenden Tunnel mit einem Außendurchmesser von 3,6 m und einem Innendurchmesser von 3 m, der mit einem Personentransporter befahrbar ist.¹⁰¹ Die 380-kV-Kabelanlage ist an Konsolen an der Innenwand des Tunnels befestigt.¹⁰²

Unabhängig von der Art der Kabelverlegung ist es beim Einsatz von Erdkabeln erforderlich, dass in einem Abstand von 400 bis 500 m Muffenbauwerke aufgestellt oder Muffengruben geschaffen werden, die die einzelnen Kabelabschnitte miteinander verbinden, weil Kabel mit einer Länge von mehreren Kilometern weder produziert noch transportiert werden können.¹⁰³

Bei Drehstromkabeln werden zudem sog. Cross-Bonding-Systeme installiert, die in die Muffenbauwerke integriert werden und dazu dienen, die gewünschte Übertragungsleistung sicherzustellen und Überspannungen zu

93 Vgl. Cichowski, Kabelhandbuch, S. 180 ff.

94 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 128.

95 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 129.

96 Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 76.

97 BMU-Studie „Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“, Bd. 3, Bericht der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie, S. 27.

98 Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 106.

99 Gemäß der Richtlinie für die Anlage von Landstraßen beträgt der Regelquerschnitt für solche Straßen 21 Meter (Richter/Heindel, Straßen- und Tiefbau, S. 16).

100 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 182.

101 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 189

102 Cichowski, Kabelhandbuch, S. 191.

103 Säcker, Der beschleunigte Ausbau der Höchstspannungsnetze als Rechtsproblem, S. 156.

verhindern.¹⁰⁴ Bei Muffengruben werden die Cross-Bonding-Systeme oberirdisch z. B. in einem Kabelverteilerschrank oder einem ca. 1,8 m breiten, 2,9 m langen und 1,35 m hohen Cross-Bonding-Bauwerk oder oberflächennah in einem Schacht montiert.¹⁰⁵ Die Muffengruben werden nach der Montage des Cross-Bonding-Systems wieder verfüllt, während Muffenbauwerke, die eine Grundfläche von ca. 3 mal 10 m aufweisen, dauerhaft erhalten bleiben und für Prüfung und Wartung zugänglich sein müssen.¹⁰⁶

Errichtet werden müssen als weitere Nebenbauwerke Umspannwerke, Kabelübergangsanlagen für die Verbindung zwischen Freileitung und Kabel, Kompensationsanlagen sowie gegebenenfalls Tunnel- und Dükerbauwerke.¹⁰⁷ Die Kabelübergangsanlagen für 380-kV-Leitungen erfordern die Errichtung von Abspannportalen, in denen die Freileitungsseile auf Überspannungsableitern über Stromumwandler hin zu den Kabelendverschlüssen führen.¹⁰⁸ Komponenten einer Kabelübergangsanlage sind ein Grundstück einschließlich Zaun, ein Freileitungsendmast, Gebäude oder Container zur Aufnahme von Schutztechnik, Fundamente etc.¹⁰⁹ Den Gesamtflächenbedarf für ein Übergangsbauwerk beziffert die Bundesnetzagentur auf etwa 30 m mal 70 m bzw. 50 m mal 50 m, wobei die Kabelübergangsanlagen üblicherweise als etwa 27 m hohe Stahlkonstruktionen ausgelegt seien, für die jeweils eine umzäunte Fläche von mindestens 20 m mal 70 m benötigt würden. Bei Drehstromerkabellen seien schon bei kurzen Leitungslängen von ca. 25 bis 30 km Blindleistungskompensationsdrosselpulen notwendig, die ca. 9 m lang, 6 m breit und 9,2 m hoch seien und eine Fläche von ca. 20 m mal 50 m beanspruchten.¹¹⁰

An den Leitungsenden von Gleichstromübertragungsleitungen müssen Konverterstationen errichtet werden, in denen der Wechselstrom in Gleichstrom und dieser wieder in Wechselstrom umgerichtet wird.¹¹¹ Diese Konverterstationen ähneln als technische Bauwerke den Umspannwerken und können je nach benötigter Leistung einen Flächenbedarf von bis zu 12 ha aufweisen.¹¹² Sie haben eine Höhe von zirka 20 m.¹¹³

¹⁰⁴ Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 77.

¹⁰⁵ Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 77.

¹⁰⁶ Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 77.

¹⁰⁷ Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 77; Scheuten, in de Witt/Scheuten, NABEG, § 18, Rn. 81.

¹⁰⁸ Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 77.

¹⁰⁹ BMU-Studie „Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“, Bd. 3, Bericht der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie, S. 35.

¹¹⁰ Bundesnetzagentur, Umweltbericht zum Bundesbedarfsplanentwurf, S. 77.

¹¹¹ Spieler, NVwZ 2012, 1139, 1140; Lang/Rademacher, RdE 2013, 145, 150 f.

¹¹² Spieler, NVwZ 2012, 1139, 1142.

¹¹³ Antweiler, ZNER 2012, 585.

C. Variantenvergleich zwischen Freileitung und Erdkabel

„Der Bau einer elektrischen Hochspannungsleitung, sei es Freileitung oder Kabel, berührt stets viele Interessen öffentlicher und privater Art. So wird es oft schwierig, für neue Leitungen neuen Trassenraum zu finden. Das gilt insbesondere für Freileitungen, die auch Fragen der Landschaftsgestaltung anschneiden. Der Errichter von Freileitungen ist bestrebt, dem Gedanken des Landschaftsschutzes durch sorgfältige Trassenwahl und ansprechende Konstruktionen gerecht zu werden. Dennoch scheint es häufig, als wären diese Probleme mit Kabelleitungen leichter zu lösen. Wenn trotzdem für Hoch- und Höchstspannungsnetze nach wie vor fast ausschließlich Freileitungen errichtet werden, dann müssen wohl gewichtige Gründe für die Freileitungen sprechen.“

Diese Sätze finden sich in der Einleitung zu einer Untersuchung der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) zum Thema „Freileitung oder Kabel in der Elektrizitätsversorgung?“ aus dem Jahr 1964.¹¹⁴

Heute werden auf der Hochspannungsebene Leitungen zwar häufiger erdverkabelt und seit 2011 ist die Erdverkabelung von 110-kV-Leitungen gemäß § 43h EnWG sogar der gesetzliche Regelfall¹¹⁵, das Höchstspannungsnetz besteht jedoch immer noch fast ausschließlich aus Freileitungen.¹¹⁶ Zumindest auf der Höchstspannungsebene scheinen daher immer noch „gewichtige Gründe“ für die Freileitung und gegen das Erdkabel zu sprechen.

Seit der Untersuchung der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke aus dem Jahr 1964 sind eine Fülle von wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Publikationen entstanden, die sich entweder in Bezug auf ein konkretes Projekt oder abstrakt mit den Vor- und Nachteilen der Erdkabeltechnik gegenüber der Freileitungstechnik befassen. Je nach Schwerpunktsetzung und ausgewertetem Datenmaterial kommen die einzelnen Studien zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen, was die Vor- und Nachteile der Erdverkabelung gegenüber der Freileitungstechnik anbelangt.

In einer Metastudie des Instituts für Energie-, Antriebs und Umwelttechnik der Technischen Universität Ilmenau wurden 63 wissenschaftliche und 113 nicht wissenschaftliche Veröffentlichungen aufgeführt und

¹¹⁴ Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (Hrsg.), Freileitung oder Kabel in der Elektrizitätsversorgung?, S. 6.

¹¹⁵ Vgl. Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und FDP des Gesetzes über Maßnahmen zur Beschleunigung des Netzausbau Elektrizitätsnetze, BT-Drs. 17/6073, S. 34.

¹¹⁶ IZES gGmbH / BET GmbH / PowerEngS, Ausbau elektrischer Netze mit Kabel oder Freileitung unter besonderer Berücksichtigung der Einspeisung erneuerbarer Energien – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Saarbrücken, 20.06.2011, S. 47; Straßburg, in: de Witt/Scheuten, NABEG, Einl. A., Rn. 62.

ausgewertet, die allein in den Jahren 2000 bis 2011 im europäischen Raum zu der Thematik entstanden sind.¹¹⁷

Wegen der zum Teil erheblich divergierenden Einzelaussagen und weil eine eigene technische, ökonomische, biologische und raumplanerische Analyse den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, basieren die folgenden überblicksartigen Angaben zum Vergleich der beiden Ausführungsvarianten im Wesentlichen auf den Ergebnissen der durch die TU Ilmenau vorgenommenen Metaanalyse der aufgrund der Vergleichsstudien vorliegenden wissenschaftlichen Faktenlage zum Leitungsbau. Weil in der Metastudie nur Ergebnisse ausgewertet wurden, „die durch die Forschungslage gesichert erscheinen“¹¹⁸, lässt sich eine querschnittsartige Abbildung des Standes der aktuellen Wissenschaft gewinnen, die – so auch die Intention der Metastudie – eine neutrale Basis zur Ableitung von Kernaussagen bildet.¹¹⁹

Ausschließlich zur Deskription einzelner Faktoren werden neben der Metastudie der TU Ilmenau die aufgrund ihres jüngeren Erscheinungstums nicht von ihr ausgewerteten Studien sowie zur Ergänzung Aussagen aus der rechtswissenschaftlichen, bau- und elektrotechnischen Literatur, der Rechtsprechung und von Behörden (Ministerien) herangezogen. Mit einander verglichen werden die technische Zuverlässigkeit, die Auswirkungen auf Menschen, die Umweltverträglichkeit und die Wirtschaftlichkeit von Erdkabeln und Freileitungen auf der Hochspannungs- und der Höchstspannungsebene.

I. Variantenvergleich zwischen Freileitung und Erdkabel auf der Höchstspannungsebene

Die Metastudie führt vor Augen, dass Höchstspannungserdkabel nicht zuverlässiger als Freileitungen sind, weil Kabel zwar eine leicht geringere Ausfallhäufigkeit aufweisen, ihre Reparatur und damit ihre Nichtverfügbarkeit im Schadensfall aber länger dauert.¹²⁰ Dieses Ergebnis ist nachvollziehbar. Erdkabel sind nicht wie Freileitungen der Witterung ausgesetzt und können nicht durch Wind, Eis, Schnee (erinnert sei an den sog. Münsterland-Blackout, bei dem aufgrund von Schnee-, Eis- und Windlast 82 Freileitungsmasten auf der Hoch- und Höchstspannungsebene brachen, was zu einer mehrtägigen Unterbrechung der Elektrizitätsversorgung für ca.

¹¹⁷ Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 6, 116 ff; 119 ff., 133 ff

¹¹⁸ Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 4.

¹¹⁹ Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 4.

¹²⁰ Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 23 f.

250 000 Menschen führte¹²¹), oder durch herabstürzende Äste und umstürzende Bäume beschädigt werden. Dies sorgt bei Erdkabeln für eine geringere Eintrittshäufigkeit von Fehlern.¹²² Der Grund für die im Schadensfall längere Ausfalldauer der Erdkabel liegt ebenfalls auf der Hand. Größere Schäden, z. B. durch umstürzende Bäume oder den Abriss eines Seiles, können bei Freileitungen „meist schnell erkannt, geortet und behoben werden.“¹²³ Alles in allem stellen „die gute Zugänglichkeit für Reparaturen und die dadurch erreichbaren kurzen Wiederversorgungszeiten nach einer Störung mit Schadensfolge und die kurzzeitige Überlastbarkeit durch Störungen im Netz ohne gravierende Folgen“¹²⁴ nach Oeding und Oswald vor allem auf der Höchstspannungsebene einen Vorteil der Freileitung dar, weil gerade diese Gesichtspunkte von besonderer Bedeutung für Verbundnetzleitungen mit einer Spannung von 220 kV und darüber seien.¹²⁵ Hinzu kommt, dass bislang keine Erfahrungen mit langen unterirdischen Höchstspannungs-Erdkabelanlagen in einem vermaschten und stark schwankend betriebenen Energieverteilsystem vorliegen.¹²⁶ Da Höchstspannungserdkabel „weitgehend unerprobt“ sind¹²⁷, werden sie nicht als „Stand der Technik“ für den flächendeckenden Einsatz in vermaschten Übertragungsnetzen angesehen.¹²⁸

121 *Bartak*, in: Crastan/Westermann, Elektrische Energieversorgung 3, S. 206; auf den Münsterland-Blackout nimmt auch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Raumordnungsbericht 2011 (BT-Drs. 17/8360, S. 76) Bezug.

122 *Jarass/Obermair*, Welchen Netzumbau erfordert die Energiewende?, S. 124.

123 *BMU-Studie* „Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“, Bd. 3, Bericht der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie, S. 74.

124 *Oeding/Oswald*, Elektrische Kraftwerke und Netze, S. 259.

125 *Oeding/Oswald*, Elektrische Kraftwerke und Netze, S. 259.

126 *Wosnitza/Hilgers*, Energieeffizienz und Energiemanagement, 2012, S. 14.

127 Bericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gem. § 3 EnLAG, BT-Drs. 17/11871, S. 3.

128 Schriftl. Stellungnahme des Sachverständigen *Maurer* zur öffentlichen Anhörung im Ausschuss für Wirtschaft und Technologie des Deutschen Bundestages, AS-Drs. 17(9)505, S. 4; *TenneT TSO GmbH / E.ON Netz GmbH / Ministerium für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein*, Netzentwicklungsinitiative Schleswig-Holstein, Stand: 20.02.2012, S. 12 (hierzu *Wasielewski*, NordÖR 2012, 218, 221); *Nds. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung*, Begründung zum Entwurf einer Verordnung zur Änderung der Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen (LROP), Stand: Februar 2012, S. 41; differenzierend *KEMA IEV – Ingenieurunternehmen für Energieversorgung GmbH et al.*, „Machbarkeitsuntersuchung zur Gesamt- oder Teilverkabelung der 380-kV-Leitung „St. Peter – Tauern“ im Bundesland Salzburg“, Bericht-Nr.: 07-42746.01-C, Dresden, 27. Januar 2008, S. 43: 380-kV-Kabelstrecken von Längen bis zu 25 Kilometer seien erfolgreich in die jeweiligen Übertragungsnetze integrierbar, die 380-kV-Verkabelung von Strecken mit einer Länge von mehr als 25 km sei noch nicht realisiert worden, sodass gesicherte Erkenntnisse, die u. a. den Stand der Technik bestimmen, noch nicht vorliegen würden.

Da bei Freileitungen Lärmimmissionen durch Betriebsgeräusche entstehen können, wie z. B. Surren, Koronaentladungen¹²⁹ oder durch ein Singen der Leiterseile¹³⁰, fällt der Befund der Metastudie der TU Ilmenau im Hinblick auf das Schutzbauwerk Mensch zugunsten der Erdkabelleitung aus¹³¹, auch wenn die Geräuschimmissionen in der Regel von den Hintergrundgeräuschen der Umwelt überlagert werden.¹³² Ebenfalls besser beurteilt werden Freileitungen im direkten Vergleich mit Erdkabelleitungen im Hinblick auf die Belastung durch elektromagnetische¹³³ Felder.¹³⁴ Dieses Ergebnis erklärt sich dadurch, dass magnetische Felder bei erdverkabelten Leitungen, bedingt durch den Aufbau des Kabels, nicht nach außen dringen können und das elektrische Feld einer unterirdischen Leitung nur zwischen Kabel und dessen Abschirmung vorhanden ist, also ebenfalls nicht nach außen dringt.¹³⁵ Für Erdkabel, aber auch für Freileitungen gilt jedoch, dass sie sowohl die im Anhang 2 zu § 3 der 26. BImSchV festgelegten Immissionsgrenzwerte als auch die Grenzwertempfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen, die der 26. BImSchV zugrunde gelegt wurden, in der Regel unterschreiten.¹³⁶ Nur in unmittelbarer Nähe zu Leitungen können in bestimmten Situationen (Betrieb, Witterung) kurzzeitig die Grenzwerte erreicht werden¹³⁷, was gemäß § 3 Satz 2 der 26. BImSchV aber regelmäßig außer Betracht bleibt.¹³⁸ Obgleich verein-

129 *Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik*, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 99.

130 *Oertel/Böhle/Revilo*, Strömungsmechanik, S. 74.

131 *Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik*, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 102.

132 *Tietz*, Systeme der Ver- und Entsorgung, S. 105.

133 Obwohl viele Studien zwischen elektrischen und magnetischen Feldern unterscheiden, erläutert die Metastudie lediglich die Befunde zu den magnetischen Feldern, weil sich diese zu den Befunden bzgl. der elektrischen Feldern nur geringfügig unterscheiden, *Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik*, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 103.

134 *Technische Universität Ilmenau, Institut für Energie-, Antriebs- und Umweltsystemtechnik*, Metastudie über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, 12.10.2011, S. 107.

135 *Sösemann*, Umweltverträgliche Energienetze, S. 94 unter Verweis auf *Steinbrich*, Untersuchungen zum frequenzabhängigen Übertragungsverhalten von Energiekabeln, S. 54; laut *BMU-Studie „Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“*, Bd. 2, Bericht der Arbeitsgruppe Umwelt, S. 12, können Magnetfelder im Nahbereich der Erdkabel auftreten, diese fielen aber zu den Seiten hin schnell ab.

136 Hierzu: *Kaltenborn*, LKRZ 2010, 321, 323; vgl. auch. BVerwG, Urteil vom 27.07.2011, AZ: 7 A 18/10; BVerwG, Gerichtsbescheid vom 21.09.2010, AZ: 7 A 7/10; BVerwG, NVwZ 2010, 1486, 1487; BVerwG, DVBl 1996, 682; BVerwG, NVwZ 1994, 1000; dazu *Greinacher/Freitag*, N&R 2011, 39, 40; *Neumann*, jurisPR-BVerwG 22/2010 Anm. 1; *Naujoks*, DVBl 2010, 1450, 1451 f.

137 *Geschwendtner/Pöhlz*, in: Bundesamt für Strahlenschutz (BFS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA) als Hrsg., UMID, Aug. 3, 2011, S. 9.

138 *Kaltenborn*, LKRZ 2010, 321, 323.