

Physikalische Zusammenhänge können auch einfach erklärt werden.

Zusammenfassung

Im Kapitel Elektrotechnik geht es zuerst um eine sehr einfache und eher ungewöhnliche Darstellung der Zusammenhänge im elektrischen Stromkreis für Laien. Es wird die aktuelle Versorgung Mitteleuropas mit elektrischer Energie kurz dargestellt und der Bogen zur sogenannten Energiewende und den neu geplanten Stromtrassen gespannt. Dabei kommt die Bundesregierung genauso wie die Netzbetreiber zu Wort. Der nun vorgesehene Vorrang der Erdverkabelung wird ausführlich beleuchtet.

2.1 Der Stromkreis

Wir alle haben täglich an vielen Stellen mit Elektrotechnik zu tun und dies geschieht so automatisch, dass wir daran kaum noch einen Gedanken verschwenden. Schalten wir beispielsweise das Licht an, so schließen wir technisch gesehen einen elektrischen Stromkreis. Der elektrische Strom, der in unsere Wohnung eingespeist wird, fließt über die hausinternen Stromleitungen – meistens aus Kupfer – bis zu dem Lichtschalter. Ist der Schalter geschlossen, so kann der Strom über die Zuleitung bis zur Leuchtkörperfassung (früher durfte man von Glühbirnenfassung sprechen) fließen. Gerade an einer Glühbirne lässt sich die Funktion eines Leuchtkörpers schön erklären, also bleiben wir momentan dabei. Von der unteren Kontaktstelle der Glühbirne fließt der Strom bis zum Glühfaden. Weil der Glühfaden nur eine geringe Dicke (im Vergleich zu den Zuleitungskabeln) aufweist und daher eine Engstelle für den Strom darstellt, wird er während des Stromdurchflus-

ses durch die Reibung des Stroms so heiß, dass er zu glühen beginnt und dabei Licht und Wärme abgibt. Nach dem Passieren des Glühfadens, fließt der Strom zum Schraubgewinde der Glühbirne und über die Lampenfassung in die hausinterne Zuleitung zurück. Damit ist für uns hier der Stromkreis geschlossen, obwohl dies eigentlich nicht ganz richtig ist. Letztendlich wird der Stromkreis erst im Stromgenerator des Kraftwerks geschlossen, aber dies würde hier momentan zu weit führen und ist auch nicht ausschlaggebend.

2.2 Was ist eigentlich elektrischer Strom?

Uns beschäftigen momentan andere Fragen. Was genau ist eigentlich der Strom und warum wird der Glühfaden tatsächlich warm? Den elektrischen Strom kann man nicht direkt anfassen oder direkt sehen. Eine ausreichend genaue Erklärung ist die, wenn man sagt, dass in solch einem Stromkreis sogenannte Elektronen (ganz, ganz kleine und fast masselose Teilchen, die elektrisch aufgeladen sind) fließen. Diese Elektronen haben die Aufgabe, ihre winzige Ladungsmenge von dem einen Pol des Stromkreises zum anderen Pol des Stromkreises zu transportieren, um so ein klein wenig zum Ausgleich beizutragen. Nun ist der Energieinhalt eines einzigen Elektrons wirklich sehr winzig und würde alleine nicht zum Erwärmen des Glühfadens ausreichen. Also schließen sich eine sehr große Anzahl an Elektronen zusammen und machen genau das Gleiche und zwar mit einer sehr hohen Geschwindigkeit. Durch die Vielzahl der Elektronen und deren hoher Bewegungsenergie im Stromkreis, wird im Glühfaden so viel Reibung (der Glühfaden ist sozusagen eine Engstelle für die Elektronen) erzeugt, bis er warm und dann sogar glühend heiß wird.

2.3 Spannung und Strom mal anders erklärt

Wie verhält sich das mit der elektrischen Spannung und der Stromstärke? Die elektrische Spannung (in Volt (V) gemessen) ist gut mit einem Wildbach in den Bergen vergleichbar. Je größer der Höhenunterschied zwischen der Quelle oben am Berg und dem Flussbett unten im Tal ist (siehe Abb. 2.1), umso größer ist das Bestreben des Wassers und damit eines jeden einzelnen Wassertropfens nach unten zu stürzen.

Im elektrischen Stromkreis stürzen die Elektronen bei einer hohen Spannung besonders gerne von dem einen Pol (besser gesagt Potential) zum anderen Pol. In unserem hier verwendeten Vergleich entspricht ein einzelner Wassertropfen im

Abb. 2.1 Die Fallhöhe vom Wasser ist mit der elektrischen Spannung vergleichbar



Wildbach einem einzelnen Elektron im elektrischen Stromkreis. Die Stromstärke (in Ampere (A) gemessen) ist mit der Menge an Wasser im Flussbett gut zu beschreiben. Je breiter das Flussbett und je höher das Wasser im Flussbett steht, umso größer ist die Wassermenge (siehe Abb. 2.2), die in einer bestimmten Zeit durch das Flussbett fließt.

Theoretisch könnte man auch die Anzahl der Wassertropfen im Flussbett zählen und sagen wie viele Wassertropfen pro Zeiteinheit vorbeifließen. Im elektrischen Stromkreis ist die Anzahl der Elektronen, die pro Zeiteinheit durch den Stromkreis fließen, ein Maß für die Stromstärke.

Nur wenn sowohl die elektrische Spannung ausreichend hoch ist und gleichzeitig die Stromstärke ausreichend ist, kann der Glühfaden beginnen zu glühen. Ist beispielsweise nur die Spannung sehr hoch und die Stromstärke fast null, so wird die Glühbirne nicht leuchten. Es wäre sogar gefahrlos möglich, den elektrischen Strom durch den eigenen Körper fließen zu lassen. Wir kennen dies vielleicht von manchen Kleidungsstücken, die sich bei Reibung elektrisch an anderen Ge-

Abb. 2.2 Flussbetthöhe und Flussbettbreite bestimmen die Wassermasse. Dies ist vergleichbar mit der elektrischen Stromstärke



genständen aufladen lassen und wir somit bei Berührung vielleicht einen kleinen Stromstoß spüren. Bisweilen sehen wir in solch einer Situation im Dunkeln auch Funken überspringen. Das zeigt, dass einige Elektronen aufgrund der hohen Spannung (mehrere tausend Volt) von einem Potential (Pol) zum anderen Potential hinüberspringen.

Im Haushalt verwenden wir in Mitteleuropa die bekannten 230 V und ein direktes Überspringen von Elektronen ist eher unwahrscheinlich. In Nordamerika verwendet man eine Spannung von 110 V und reduziert damit noch weiter das Risiko des Überspringens von einzelnen Elektronen. Allerdings müssen in Nordamerika dafür auch die elektrischen Zuleitungen deutlich dicker sein, um den Strom zu transportieren, ohne selbst zu Glühfäden zu werden.

2.4 Wechselstrom im Haushalt

Im Haushalt hat es sich als praktisch erwiesen mit Wechselstrom, anstatt mit Gleichstrom zu arbeiten. Bei Wechselstrom fließen die Elektronen einmal ganz schnell in die eine Richtung durch den Stromkreis und danach in die andere Richtung. Dieser Wechsel geschieht in Europa 50 Mal in der Sekunde. Es gibt zwei Gründe, warum wir mit Wechselstrom arbeiten. Dies ist zum einen der Aufbau der Stromgeneratoren in den Kraftwerken, die Wechselstrom erzeugen. Zum anderen ist es der Vorteil des verlustärmeren Stromtransportes über mittlere Entfernungen gepaart mit den relativ hohen Spannungen (und damit relativ geringeren Stromstärken und damit wiederum den relativ geringen Kabeldurchmessern) der Überlandleitungen. Ferner lässt sich Wechselstrom mit relativ geringem Aufwand von einer Spannung in eine andere Spannung umwandeln. Bei sehr großen Entfernungen des Stromtransportes und sehr hohen Spannungen hat sich hingegen offensichtlich gezeigt, dass die Verwendung von Gleichstrom insgesamt Vorteile bringt. Bei Gleichstrom fließen die Elektronen immer in derselben Richtung durch den Stromkreis.

2.5 Der Stromtransport in Deutschland heute und in Zukunft

2.5.1 Heute erfolgt der Stromtransport mittels Wechselstrom

Im Zuge der sogenannten Energiewende werden künftig große Mengen an Strom im Norden durch Windparks produziert. Die großen Stromabnehmer befinden sich jedoch eher weiter im Süden. Demzufolge besteht die Aufgabe darin, den Strom über längere Distanzen zu transportieren. Die Abb. 2.3 zeigt diverse heutige Stromleitungen, welche die elektrische Energie bis ins Allgäu transportieren.

Relativ schnell wurde die Frage gestellt, ob die vorhandene Infrastruktur in Form der großen Überlandleitungen überhaupt in der Lage ist, diese Aufgabe zu bewältigen. Hierzu wurden nähere Untersuchungen angestellt und eine sehr umfangreiche und abschließende Darstellung erfolgte im „**Endbericht dena Netzstudie II**“, welche von einem breit angelegten Konsortium erstellt wurde. Ein Ergebnis der vorliegenden Studien ist, dass wir neue Stromtrassen für den Transport der gewonnenen Energie benötigen werden.



Abb. 2.3 Heutige Wechselspannungsleitungen transportieren den Strom in den Süden der Republik

2.5.2 Künftig erfolgt der Stromtransport mittels Gleichstrom über große Entfernungen

Nun stellt sich die Frage, mit welcher Technik diese großen Energiemengen über solch große Entfernungen transportiert werden sollen.

Hierzu gibt die Internetseite der TenneT, einem der Betreiber der neuen Stromtrassen mit dem Titel **Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung**, eine Antwort:

(...) Für die zentrale Nord-Süd-Verbindung SuedLink wird mit der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) auf eine bewährte Technik gesetzt, die weltweit in vielen Ländern schon eingesetzt wird. Auch in Deutschland wird sie im Zuge der Energiewende eine immer größere Bedeutung bekommen.

Das bestehende Übertragungsnetz in Deutschland wird standardmäßig mit Wechselstrom betrieben. Hierbei wechselt der Strom 50 Mal pro Sekunde zwischen seinem Plus- und Minuspol hin und her und besitzt daher eine Frequenz von 50 Hertz. Dieses Wechselstromnetz ist jedoch nur bedingt einsetzbar, um Strom über weite Entfernungen mit möglichst geringen Verlusten zu transportieren: Hier setzt die HGÜ-Technologie an – und ist deutlich überlegen.

Beim Gleichstrom wechselt der Strom seine Polarität nicht, sondern bleibt konstant, solange auch die Richtung der Leistungsübertragung gleich bleibt. Mit HGÜ sind die Übertragungsverluste geringer als bei vergleichbaren Wechselstromleitungen. Für den möglichst verlustarmen Transport großer Strommengen über große Strecken ist HGÜ daher die Technologie der Wahl (...). [1]

Die geplante Gleichspannung, die an den Kabeln der Freileitungen anliegen wird, soll mehrere 100.000 V betragen. Hierzu gibt es Konzepte mit nur einem Kabel auf den Masten und geplantem Rückfluss des Stromes (um den Stromkreis schließen zu können) durch das Erdreich, aber auch Konzepte bei denen das eine Kabel mit +500.000 V und das andere Kabel mit –500.000 V beaufschlagt werden. Die Masten und das Erdreich wären dann spannungslos.

Ähnliche Ergebnisse und Empfehlungen ergeben sich auch aus der **dena Netzstudie II**. Warum empfiehlt sich nun also Gleichspannung und warum keine Wechselspannung?

Die Technologien mit Freileitung erweisen sich für alle exemplarisch untersuchten Übertragungsaufgaben als die eher geeigneten Lösungen. Für kleine Übertragungsleistungen (1.000 MW) und kürzere Trassenlängen (100 km) ergibt sich für die konventionelle 380 kV Drehstromfreileitung die beste Bewertung. Bei den drei weiteren exemplarischen Aufgaben erweisen sich oft mehrere Übertragungstechnologien als nahezu gleichwertig, bei Trassenlängen von mehr als 400 km oder noch höheren Leistungen kommen verstärkt die Vorteile der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) zum Tragen. [2, S. 14]

Brauchen wir neue Überlandleitungen:

Die Untersuchung zeigt, dass für die Zielerreichung (Integration der erneuerbaren Energien, Optimierung des Kraftwerksparks, europäischer Stromhandel) eine deutliche Optimierung des Verbundnetzes und der Bau neuer Höchstspannungstrassen notwendig werden. [2, S. 16]

Auf was geachtet werden muss, wenn man Freileitungen, so wie heute üblich, verwendet:

Die Übertragungskapazität von Freileitungen wird begrenzt durch die maximal zulässige Leitertemperatur sowie durch den in den geltenden Normen geforderten Mindestabstand der Leiter zum Boden, der aus Sicherheitsgründen (Verkehrssicherungspflicht) zu jedem Zeitpunkt des Betriebs gewahrt bleiben muss. Der Bodenabstand verändert sich aufgrund der Längendehnung des Leiters mit der Leitertemperatur. Einflussgrößen auf den Bodenabstand sind zum einen der Strom, der den Leiter durchfließt, und zum anderen die Wetterbedingungen, die den Leiter

umgeben. Hier haben insbesondere die Größen Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit und Windanströmwinkel Einfluss auf die Leitertemperatur und damit auf den Durchhang bzw. Bodenabstand. [2, S. 124]

Über die Umwandlung des in den Generatoren (auch Windräder haben kleine Generatoren, wie die großen Generatoren in den heutigen Kraftwerken) erzeugten Wechselstroms in Gleichstrom wird in der dena-Netzstudie II weiter ausgeführt:

Die HGÜ überträgt die Leistung, indem die dreiphasige Wechselspannung in eine Gleichspannung umgewandelt wird. Dies geschieht mit Hilfe von elektronischen Halbleiterventilen (Thyristoren). Über den Gleichstrom kann die Leistung über weite Strecken übertragen werden. Begrenzende Faktoren wie Induktivitäten und Kapazitäten bei langen Drehstromleitungen können so umgangen werden. Die Übertragungsstrecke kann über eine Gleichstromfreileitung oder ein Gleichstromkabel erfolgen.

Und weiter in der dena-Netzstudie II über das Leistungsvermögen der geplanten HGÜ und im Betrieb befindliche HGÜ:

Die typische Nennleistung einer HGÜ-Verbindung liegt im Bereich von 1.000–3.000 MW. Das bisher größte klassische HGÜ Projekt entsteht derzeit in China von Xiangjiaba nach Shanghai über eine Entfernung von über 2.000 km und mit einer Übertragungsleistung von 6.400 MW bei der Gleichspannung von ± 800 kV. [2, S. 171]

2.5.3 Erklärungen der Begriffe aus den Veröffentlichungen

Jetzt ist es an der Zeit kurz zwei der verwendeten Abkürzungen zu erklären. Eine Gleichspannung von 800 kV (Kilovolt) ist eine Spannung von 800.000 V. Die Abkürzung von MW steht für Megawatt (1.000.000 W) und ist ein Maß für die Leistung. Die Leistung können wir uns im vorher verwendeten Beispiel mit dem Wildbach so vorstellen: Es ist die Kombination (genauer gesagt das Produkt) aus der Fallhöhe des Wassers (elektrisch die Spannung) und der Wassermenge (Breite und Tiefe des mit Wasser gefüllten Baches, also elektrisch der Stromstärke), die pro Zeiteinheit ins Tal stürzt. Eine große Wassermenge, die über eine große Höhe ins Tal stürzt, kann viel leisten.

2.5.4 Über die Freileitungen

Ergänzend schrieb die TenneT noch im Juli 2015 auf ihrer Internetseite **Freileitung oder Erdkabel**:

Zur Stromübertragung auf der Höchstspannungsebene werden überwiegend Freileitungen verwendet. Diese verfügen über eine hohe Übertragungsleistung und lassen sich vergleichsweise schnell errichten . . .

Grundsätzlich schreibt der Gesetzgeber vor, Übertragungsnetze auf der Höchstspannungsebene als Freileitung zu errichten (. . .). [3]

Bisher war der allgemeine Tenor, dass das neu zu errichtende Übertragungsnetz auf Gleichspannungsebene überwiegend mittels bestehender und neuer Freileitungen realisiert werden soll. Dies hat sich nun geändert:

Die Diskussionen um den Netzausbau machen eines deutlich: Viele Bürger wollen, dass die neuen Stromleitungen so wenig wie möglich auffallen. Erdkabel bieten hier eine interessante zusätzliche Option für den erforderlichen Netzausbau im Zusammenhang mit der Energiewende. Allerdings liegen für die Verwendung von Erdkabeln auf der Höchstspannungsebene in Drehstromtechnik bislang nur wenige Betriebserfahrungen vor.

Im Gleichstrombereich ist der Einsatz von Erdkabeln auf der Höchstspannungsebene dagegen weltweit gut erprobt. So werden Offshore-Windparks in der Regel über Seekabel und landseitig mit Erdkabeln angebunden. Mehrere tausend Kilometer hat TenneT zu diesem Zwecke bereits in der Nordsee installiert und auch an Land bereits mehr als 1000 Kilometer Leitung in Schleswig-Holstein und Niedersachsen unterirdisch verlegt.

Bei der Gleichstromverbindung SuedLink hat sich TenneT dafür eingesetzt, dass der rechtliche Rahmen eine Teilverkabelung ermöglicht. Wie viele Kilometer am Ende tatsächlich verkabelt werden, hängt jedoch maßgeblich von dem weiteren Genehmigungsverfahren ab. [4]

Die Entscheidung, ob Freileitungen zum Einsatz kommen, wird im jeweiligen Genehmigungsverfahren für den betroffenen Streckenabschnitt getroffen.

TenneT und TransnetBW verpflichten sich, SuedLink so zu planen und zu bauen, dass Beeinträchtigungen für Mensch und Natur so gering ausfallen wie möglich. Der geplante Vorrang für Erdverkabelung von Stromleitungen biete hierfür eine gute Grundlage. Ökologisch besonders wertvolle Gebiete sollen, soweit dies umsetzbar ist, nicht berührt werden. Sofern Beeinträchtigungen für die Umwelt jedoch unvermeidbar sind, entwickeln TenneT und TransnetBW Maßnahmen zum Ausgleich und Ersatz. [5]

In besonders ökologisch wertvollen Gebieten kann es also möglich sein, dass Freileitungen bevorzugt eingesetzt werden.

Derzeit stellt TenneT als zuständiger Übertragungsnetzbetreiber die Weichen, um so schnell wie möglich mit der Neuplanung beginnen zu können. Dies ist nötig, nachdem

die Koalitionsspitze einen allgemeinen Vorrang für Erdkabel bei Gleichstromverbindungen vereinbart und in einem Kabinettsbeschluss konkretisiert hat. Für SuedLink bedeutet der Erdkabel-Vorrang, dass die Planung möglicher Trassenkorridore neu aufgesetzt werden muss. [6]

In der Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie vom 07.10.2015 wird ausgeführt, dass nun die Erdverkabelung Vorrang haben soll und dass dies zu mehr Akzeptanz in der Bevölkerung führen soll:

Das Bundeskabinett hat heute grünes Licht für mehr Erdkabel gegeben und setzt damit die „Eckpunkte für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende“ vom 1. Juli 2015 um. Künftig sollen die neuen Stromautobahnen (sog. Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen) vorrangig als Erdkabel statt Freileitung gebaut werden. Der Vorrang betrifft v. a. die großen Nord-Süd-Trassen wie Sue-Link oder die Gleichstrompassage Süd-Ost.

Bundesminister Gabriel: ‚Der heutige Beschluss stellt die Weichen für einen schnelleren und in der Bevölkerung akzeptierten Netzausbau. Die Richtung ist klar: Bei den neuen Gleichstromvorhaben gilt künftig ein Vorrang für Erdkabel. Das führt zu mehr Akzeptanz, denn vielerorts hatten die Menschen große Bedenken gegen Freileitungen. Jetzt ist der Weg frei, für den dringend notwendigen Ausbau der Stromnetze. Und den brauchen wir, um die Energiewende zum Erfolg zu führen.‘

Die Stromautobahnen sollen in Bundesfachplanung vorrangig in der Erde verlaufen. Dort, wo Menschen wohnen, sollen künftig Freileitungen verboten sein. Gleichstrom-Freileitungen kommen nur dann ausnahmsweise in Betracht, wenn Naturschutzgründe dafür sprechen oder bereits bestehende Stromtrassen genutzt werden können, ohne dass es zu Umweltauswirkungen kommt. Auch ist eine Freileitung denkbar, wenn die betroffene Gebietskörperschaft diese aufgrund örtlicher Belange ausdrücklich verlangt. [7]

Die dem Gesetzesbeschluss zu Grunde liegende Formulierungshilfe mit entsprechenden Begründungen für den Änderungsantrag geht recht detailliert auf die zu beschließenden Ausnahmen ein:

§ 12 wird wie folgt geändert:

a) Absatz 2 Satz 1 wird wie folgt geändert:

aa) Nach Nummer 2 wird folgende Nummer 3 eingefügt:

„3. bei Vorhaben im Sinne von § 2 Absatz 5 des Bundesbedarfsplangesetzes eine Kennzeichnung, inwieweit sich der Trassenkorridor für die Errichtung und den Betrieb eines Erdkabels eignet, und“.

(...)

- b) Nach Absatz 2 Satz 2 wird folgender Satz eingefügt:

Die bisherige Nummer 3 wird Nummer 4.

„Bei Vorhaben im Sinne von § 2 Absatz 5 des Bundesbedarfsplangesetzes sind auch die Gründe anzugeben, aus denen in Teilabschnitten ausnahmsweise eine Freileitung in Betracht kommt.“[8]

Dies bedeutet, dass es grundsätzlich weiterhin die Möglichkeit gibt, unter bestimmten Bedingungen die HGÜ als Freileitungen zu errichten.

„§ 3

Erdkabel für Leitungen zur Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung

- (1) Leitungen zur Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung der im Bundesbedarfsplan mit „E“ gekennzeichneten Vorhaben sind nach Maßgabe dieser Vorschrift als Erdkabel zu errichten und zu betreiben oder zu ändern.
- (2) Die Leitung kann auf technisch und wirtschaftlich effizienten Teilabschnitten als Freileitung errichtet und betrieben oder geändert werden, soweit
 1. ein Erdkabel gegen die Verbote des § 44 Absatz 1 auch in Verbindung mit Absatz 5 des Bundesnaturschutzgesetzes verstieße und mit dem Einsatz einer Freileitung eine zumutbare Alternative im Sinne des § 45 Absatz 7 Satz 2 des Bundesnaturschutzgesetzes gegeben ist,
 2. ein Erdkabel nach § 34 Absatz 2 des Bundesnaturschutzgesetzes unzulässig wäre und mit dem Einsatz einer Freileitung eine zumutbare Alternative im Sinne des § 34 Absatz 3 Nummer 2 des Bundesnaturschutzgesetzes gegeben ist, oder
 3. die Leitung in oder unmittelbar neben der Trasse einer bestehenden oder bereits zugelassenen Hoch- oder Höchstspannungsfreileitung errichtet und betrieben oder geändert werden soll und der Einsatz einer Freileitung voraussichtlich keine zusätzlichen erheblichen Umweltauswirkungen hat.

Auf Verlangen der für die Bundesfachplanung oder Zulassung des Vorhabens zuständigen Behörde müssen die Leitungen auf Teilabschnitten unter den Voraussetzungen des Satzes 1 als Freileitung errichtet und betrieben oder geändert werden.

- (3) Sofern Gebietskörperschaften, auf deren Gebiet ein Trassenkorridor voraussichtlich verlaufen wird, in der Antragskonferenz nach § 7 des Netzausbaubeschleunigungsgesetzes Übertragungsnetz aufgrund örtlicher Belange die Prüfung des Einsatzes einer Freileitung verlangen, ist vom Träger des Vorhabens zu prüfen, ob die Leitung auf Teilabschnitten in dieser Gebietskörperschaft abweichend von Absatz 2 als Freileitung errichtet und betrieben

oder geändert werden kann. Sofern die Prüfung ergibt, dass dies möglich ist, und der Träger des Vorhabens dies bei der Vorlage der erforderlichen Unterlagen nach § 8 des Netzausbaubeschleunigungsgesetzes Übertragungsnetz vorschlägt, ist die Errichtung und der Betrieb oder die Änderung einer Leitung als Freileitung auf Teilabschnitten innerhalb der betreffenden Gebietskörperschaft abweichend von Absatz 2 zulässig. Auf Verlangen der für die Bundesfachplanung oder Zulassung des Vorhabens zuständigen Behörde müssen die Leitungen auf Teilabschnitten als Freileitung errichtet und betrieben oder geändert werden.

(...)

Im Gleichstrombereich wird der bisherige Grundsatz, dass die Trassenplanung auf Freileitungen beruht, umgekehrt. Bei HGÜ-Leitungen wird die Erdverkabelung zur Regel. In der Nähe von Wohngebieten ist der Freileitungsbau sogar stets unzulässig. Damit wird ein größtmögliches Maß an Akzeptanz für diese neuen Gleichstromleitungen geschaffen. Allerdings kann sich ausnahmsweise im Einzelfall ein Erdkabel in der Abwägung als schlechtere Ausführung erweisen. Das BBPlG beschränkt diese Möglichkeiten aber auf überragende Schutzgüter, den Gebiets- und Artenschutz, sofern ein Erdkabel unzulässig wäre und eine Freileitung eine zumutbare Alternative ist.“ [8]

Gerade in besonders sensiblen Gebieten, in denen ein Artenschutz besteht, ist die Planung und Durchführung von Freileitungen vorgesehen.

Um die Eingriffe in Natur und Landschaft zu minimieren, kann auch eine bestehende oder bereits zugelassene Freileitungstrasse genutzt werden, sofern das Vorhaben keine zusätzlichen erheblichen Umweltauswirkungen hat. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn das Vorhaben auf bestehenden Masten geführt werden kann, ohne dass erhebliche bauliche Veränderungen erforderlich sind. [8]

Sollten die bestehenden Masten verwendet werden können, so ist die Verwendung von Freileitungen durchaus möglich.

„In § 3 Absatz 2 BBPlG – neu – werden Ausnahmen aufgeführt, in denen eine Freileitung errichtet werden kann. Da die Erdverkabelung jedoch Vorrang genießt, ist eine Freileitung allenfalls auf technisch und wirtschaftlich effizienten Teilabschnitten zulässig. Auf einem solchen Teilabschnitt kann eine Freileitung auf Antrag des Vorhabenträgers errichtet werden, soweit eine der drei Ausnahmen gegeben ist. Der Einsatz von Freileitungen ist grundsätzlich auch dann zulässig, wenn die Voraussetzungen nach Absatz 2 Satz 1 nicht auf der gesamten Länge des jeweiligen Teilabschnitts vorliegen.“ [8]

Dies bedeutet, dass Streckenabschnitte in Teilabschnitte aufgeteilt werden und dass auf einigen Teilabschnitten dennoch auf Freileitungen gesetzt wird.

„Die Nummern 1 und 2 ermöglichen eine Freileitung als Alternative für die Fälle, in denen ein Erdkabel gegen bestimmte naturschutzrechtliche Aspekte verstoßen würde. Für den Arten- und Gebietsschutz enthält das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) in § 44 Absatz 1 auch in Verbindung mit Absatz 5 und § 34 Absatz 2 Verbote, die einer Verwirklichung des Vorhabens als Erdkabel entgegenstehen können. Bei einem Verstoß gegen diese Verbote stellt sich im Rahmen der dann erforderlichen weiteren arten- beziehungsweise gebietschutzrechtlichen Prüfung unter anderem die Frage, ob zumutbare Alternativen gegeben sind. Die Regelung ermöglicht eine Freileitung als technische Ausführungsalternative, sofern es sich hierbei um eine zumutbare Alternative im Sinne des § 45 Absatz 7 Satz 2 beziehungsweise § 34 Absatz 3 Nummer 2 BNatSchG handelt.

Nummer 3 räumt die Möglichkeit ein, bestehende oder bereits zugelassene Freileitungstrassen (Bestandstrassen) zu nutzen, insbesondere um den Flächenverbrauch zu senken und die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt möglichst gering zu halten. Indem Bestandstrassen genutzt werden, kann eine Belastung durch ein zusätzliches Erdkabel minimiert werden. Bei einer Trassenbündelungsmöglichkeit sollte der Einsatz von Freileitungen möglich sein, wenn dies zu geringeren Umweltauswirkungen als der Einsatz eines Erdkabels führen würde. Für die Nutzung einer Bestandstrasse gelten allerdings hohe Anforderungen, um dem Erdkabelprimat zur Geltung zu verhelfen. So muss zum einen das Vorhaben in oder unmittelbar neben der Bestandstrasse zu errichten sein. Zwar werden damit Anreize für die Planung gesetzt, bei der Wahl der Trassenkorridore auch möglichst vorhandene Trassen oder bereits ausgewiesene Trassenkorridore zu erwägen. Diese Ausnahme wird jedoch dadurch in ihrem Anwendungsbereich eingeschränkt, dass die Freileitung keine zusätzlichen erheblichen Umweltauswirkungen haben darf. Dies bedeutet, dass die Bündelungsmöglichkeit nur dort zum Tragen kommt, wo im Rahmen einer umfassenden Abwägung und im Vergleich zur Vorbelastung lediglich geringe zusätzliche Eingriffe in die Umwelt, insbesondere Natur und Landschaft, zu erwarten sind. Eine Bündelungsmöglichkeit dürfte somit insbesondere dann nicht in Betracht kommen, wenn die Nutzung der Bestandstrasse zu einer deutlichen Erhöhung der Masten führen würde. Auch Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder sind einzubeziehen. Zu berücksichtigen ist hierbei auch die Regelung des § 4 Absatz 2 der Verordnung über elektromagnetische Felder. Danach müssen bei Errichtung und wesent-

lichen Änderungen von Gleichstromanlagen die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich minimiert werden. Auf Verlangen der Bundesnetzagentur (in der Bundesfachplanung) bzw. der Planfeststellungsbehörde muss nach Satz 2 eine Freileitung errichtet werden. Damit wird insbesondere für den Fall, dass der Vorhabenträger und die zuständige Behörde unüberwindbare Differenzen bei der Anwendung der Ausnahmekriterien nach Satz 1 haben sollten, geregelt, dass die Behörde ihrer Auffassung als letztes Mittel zur Geltung verhelfen kann. Ein mögliches behördliches Verlangen ist dabei Teil der umfänglichen behördlichen Abwägungsentscheidung, so dass hierzu keine weiteren Ermessenserwägungen vorgenommen werden müssen.

Nach § 3 Absatz 3 Satz 1 BBPlG – neu – hat es die Gebietskörperschaft, auf deren Gebiet ein Trassenkorridor voraussichtlich verlaufen wird, in der Hand, von dem jeweiligen Vorhabenträger eine Prüfung zu verlangen, ob die Leitung als Freileitung ausgeführt werden kann. Eine Freileitungsvariante kann ausnahmsweise und unabhängig von den in Absatz 2 Satz 1 genannten Kriterien (Naturschutz und Nutzung von Bestandstrassen) aufgrund örtlicher Belange von der betroffenen Gebietskörperschaft verlangt werden. Über die in Absatz 2 Satz 1 Nummern 1 bis 3 genannten Aspekte hinaus spielen hier auch sonstige Belange der Gebietskörperschaft eine Rolle, wie beispielsweise die städtebauliche Entwicklung oder weitere planungsrechtliche Erwägungen. Das jeweilige im Rahmen der Antragskonferenz nach § 7 NABEG vorzubringende Prüfverlangen bezieht sich selbstredend auf die in der betroffenen Gebietskörperschaft befindlichen Teilabschnitte. Im Rahmen der Prüfung hat der Vorhabenträger die vorgebrachten örtlichen Belange zu berücksichtigen. Aufgrund lokaler Begebenheiten ist es denkbar, dass im Einzelfall eine Freileitung zu mehr Akzeptanz führen kann als ein Erdkabel. Damit entsteht ein hinreichender Spielraum für technologische Alternativen, um flexibel auf die örtlichen Belange reagieren zu können, falls dies von den Betroffenen gewünscht wird und aus Kenntnis vor Ort ein entsprechender Anstoß erfolgt. Im Rahmen der behördlichen und gerichtlichen Überprüfung des Verlangens werden lediglich die formellen Voraussetzungen des Verlangens überprüft; im Übrigen erfolgt keine Überprüfung der materiellen Rechtmäßigkeit des Verlangens. Kommt der Vorhabenträger zu dem Ergebnis, dass dem Verlangen der Gebietskörperschaft entsprechend eine Ausführung als Freileitungsalternative in Betracht kommt, so kann er im Rahmen der Vorlage der erforderlichen Unterlagen nach § 8 NABEG ein solches Vorgehen vorschlagen. In einem solchen Fall ist ausnahmsweise eine Ausführung als Freileitungsvariante innerhalb der jeweiligen Gebietskör-

perschaft, die die Prüfung nach Satz 1 verlangt hatte, unabhängig von den in Absatz 2 Satz 1 genannten Kriterien (Naturschutz und Nutzung von Bestandsstrassen) zulässig. Nach Absatz 3 Satz 3 kann die zuständige Behörde entsprechend Absatz 2 Satz 2 die Ausführung als Freileitung verlangen.“ [8]

Zusammenfassend betrachtet sind die Freileitungen wohl nicht vom Tisch und gerade in Naturschutzgebieten besteht die Möglichkeit, dass Freileitungen zum Einsatz kommen. Sollten bestehende Masten verwendet werden können und es sinnvoll erscheinen, so ist auch in diesen Fällen eine Realisierung mittels Freileitungen möglich. Inwieweit die Gebietskörperschaften (Bund, Länder, Bezirke, Landkreise, Städte und Gemeinden) sich gegen den Neubau von unterirdischen Stromtrassen stellen werden, bleibt abzuwarten. Der Schutzbereich zwischen der Bebauung mit Wohnhäusern und den Freileitungen darf offensichtlich bei Neubauvorhaben nicht 400 m unterschreiten, außer im Außenbereich; dort sind es 200 m.

2.5.5 Über die bisher untersuchten Konsequenzen der Freileitungen des Höchstspannungsgleichstroms

Zur Klarstellung der Konsequenzen solch einer Installation von Höchstspannungsgleichstromleitungen hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im **Bundesanzeiger** im amtlichen Teil eine **Bekanntmachung schon am 25.02.2014** herausgegeben.

Hier einige Zitate aus der **amtlichen Bekanntmachung**:

Einleitung:

Die forcierte Nutzung erneuerbarer Energie als Folge der Energiewende in Deutschland und die damit verbundenen langen Entfernungen zwischen Erzeugungs- und Verbrauchsstätten elektrischer Energie machen den Ausbau neuer Langstrecken-Energieübertragungsleitungen erforderlich. Dafür sollen auch Hochspannungsgleichstromübertragungs-Leitungen (HGÜ-Leitungen) zum Einsatz kommen.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beauftragt, in Ergänzung ihrer Stellungnahme zu Wechselspannungsenergieversorgungssystemen (SSK 2008) auch die HGÜ-Leitungen, insbesondere deren elektrische und magnetische Gleichfelder, aus der Sicht des Strahlenschutzes in Bezug auf den Menschen zu beurteilen. Sie hat daher die vorliegende Empfehlung erarbeitet; eine Grenzwert-Regelung ist nicht Gegenstand dieser Empfehlung.

(...)

Die HGÜ-Technik ist eine effiziente Möglichkeit zur Übertragung elektrischer Energie über längere Distanzen. Isolierte HGÜ-Kabel werden auf Seegrund oder im

Erdreich derzeit über Distanzen von 50 km bis 150 km eingesetzt und bei Übertragungsspannungen bis ca. ± 350 kV betrieben. HGÜ-Leitungen sind dagegen schon mit Spannungen bis ± 800 kV (mit einer verketteten Spannung bis 1600 kV) und Übertragungsdistanzen über 1000 km in Betrieb. In Zukunft ist bei Neuinstallationen von noch höheren Spannungen auszugehen.

(...) HGÜ-Freileitungen

An den Leiterseilen der HGÜ kommt es wegen der dort herrschenden hohen elektrischen Feldstärke, wie auch bei HWÜ-Leitungen, zu Mikroentladungen (Koronaentladungen) und zur Ionisation der Luft. Dies erfolgt jedoch ständig, weil die hohe elektrische Spannung nicht, wie bei der HWÜ, periodisch gegen Null geht. Bei HWÜ-Leitungen wechselt zusätzlich die Polarität der Einzelleiter und damit die Polarität der Entladungen ständig, sodass sich die erzeugten Ladungen immer wieder ausgleichen können. Bei HGÜ-Leitungen ändert sich die Polarität am Leiterseil hingegen nicht. Daher kann sich um die Leiter eine größere Raumladungswolke geladener Teilchen ausbilden. Dies hat mehrere Konsequenzen, nämlich

- dass im Vergleich zu HWÜ-Leitungen höhere elektrische Bodenfeldstärken auftreten und
- dass sich die elektrischen Felder durch Windverfrachtungen der Ladungswolke über größere Bereiche erstrecken können.

Die Raumladungswolke enthält auch durch Koronaentladung entstandene chemische Verbindungen wie Ozon und Stickoxide.

(...) Ionen, Ozon und Stickoxide

Durch die hohen elektrischen Feldstärken und die dadurch bewirkten elektrischen Funkenentladungen an den Leiterseilen (Koronaeffekt) kommt es zu einer Ionisierung von Luftmolekülen und zur Erzeugung von Ozon und Stickoxiden (NOx). Die Höhe des im Freien auftretenden natürlichen Ozonpegels unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen und beträgt in den Wintermonaten ca. $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 ppb bis 40 ppb) und in den Sommermonaten ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 ppb bis 60 ppb) (DWD 2000).

Die durch HWÜ-Leitungen (400 kV bis 600 kV), zwei stromführende Leiterseile verursachten Ozonkonzentrationen wurden in Bodennähe bei allen experimentellen Bedingungen mit Werten unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppb) gemessen (Droppo et al. 1979). Daraus wurde die maximale Produktionsrate (Quellstärke) mit $14 \mu\text{g}/(\text{s}\cdot\text{m})$ errechnet. Die natürliche Variabilität der Ozonkonzentration wurde mit $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5 ppb) angegeben (Droppo et al. 1979).

Ähnliche Werte ergeben sich aufgrund von Berechnungen mit maximal 775-kV-Leiterspannung (siehe Anhang B). Bei einer konservativen Betrachtung wurden als bodennaher Zusatzeintrag durch HGÜ-Leitungen (zwei stromführende Leiterseile) für Ozon $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,4 ppb) und für Stickoxide $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,02 ppb) berechnet.

In unmittelbarer Nähe (1 mm bis 2 mm) der Leiterseile von HGÜ-Leitungen können NOx-Konzentrationen im ppm-Bereich auftreten, die jedoch durch atmosphärische Verdünnung schnell verringert werden und in Bodennähe nur noch unwesentlich zur Hintergrundkonzentration beitragen (Chen und Davidson 2002). [9]

Die Bundesregierung hat die Auswirkungen auf die Umwelt untersuchen lassen und sieht nur ein geringes Risiko bei der Zunahme von Ozon und Stickoxiden. Weitere Informationen über andere Ionen befinden sich nicht in dieser amtlichen Bekanntmachung. Lassen wir es also im Moment mal darauf beruhen.

Literatur

1. TenneT TSO GmbH, Bayreuth. Internetseite mit dem Titel Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung. (<http://suedlink.tennet.eu/technologie/hochspannungs-gleichstrom-uebertragung.html>). Zugriffen: 02.07.2015
2. Stephan Kohler, Annegret-Cl. Agricola und Hannes Seidl, Projektleitung (2010).dena-Netzstudie II, Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015–2020 mit Ausblick 2025. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin.
3. TenneT TSO GmbH, Bayreuth. Internetseite mit dem Titel Freileitung oder Erdkabel, (<http://suedlink.tennet.eu/technologie/freileitung-oder-erdkabel.html>). Zugriffen: 08.07.2015
4. TenneT TSO GmbH, Bayreuth. Internetseite mit dem Titel Die Erdverkabelung, (<http://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/rund-um-den-netzausbau/erdverkabelung.html>). Zugriffen: 22.10.2015
5. TenneT TSO GmbH, Bayreuth. Internetseite mit dem Titel Der Schutz von Mensch und Umwelt, (<http://suedlink.tennet.eu/technologie/mensch-und-umwelt.html>). Zugriffen: 22.10.2015
6. TenneT TSO GmbH, Bayreuth. Internetseite mit dem Titel SuedLink – die Windstromleitung, (<http://suedlink.tennet.eu/home.html>). Zugriffen: 22.10.2015
7. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015) Pressemitteilung vom 07.10.2015 mit dem Titel Kabinett stellt Weichen für zügigen Ausbau der Stromnetze
8. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015) Formulierungshilfe Erdkabel Dateiname: 04 FH Erdkabelgesetz.doc. Stand 25.09.2015, 09:15 Uhr
9. Dr. Böttger (2014). Bundesanzeiger im amtlichen Teil, Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (Biologische Effekte der Emissionen von Hochspannungs-Gleichstromübertragungsleitungen [HGÜ] vom 12. September 2013). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Bonn. BANz AT 07.08.2014 B3

Gleichstromtrassen und ihre Auswirkungen
Grundlagen, Aktueller Stand und offene Fragen

Bonné, A.

2016, XI, 53 S. 12 Abb.,

ISBN: 978-3-658-12664-3