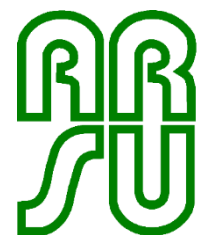




Planerische Bewertung des AGS- Verfahrenskonzeptes zur Verlegung von HV-Kabeln in ultralangen Teilabschnitten und für den Betrieb von HV-Kabeln in Schmaltrassen

Juni 2016

ARSU GmbH
Escherweg 1
26121 Oldenburg



Auftraggeber:

Stadtwerke Stade GmbH

Vorhaben:

Naturschutzfachliche Bewertung des AGS-Verfahrenskonzeptes zur Verlegung von HV-Kabeln in ultralangen Teilabschnitten und für den Betrieb von HV-Kabeln in Schmaltrassen

Stand:

23.06.2016

Auftragnehmer:

ARSU GmbH

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH
Escherweg 1, 26121 Oldenburg
Postfach 11 42, 26001 Oldenburg

Tel. +49 441 971 74 97

Fax +49 441 971 74 73

www.arsu.de

info@arsu.de

Bearbeiter:

Prof. Dr. Ulrich Scheele

Dipl. Biol. Elith Wittrock

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	5
2	Umweltbewertung.....	9
2.1	Technische Eckpunkte des Verfahrens.....	9
2.2	Identifizierung der möglichen Wirkfaktoren in Bezug auf Anlage, Bau, und Betrieb (Unterhaltung).....	13
2.3	Auswirkungen der Wirkfaktoren auf die Umweltschutzgüter.....	17
2.3.1	Baubedingte Wirkfaktoren.....	17
2.3.2	Anlagen- und betriebsbedingte Wirkfaktoren.....	19
2.4	Fazit.....	25
3	Bündelung von Infrastrukturen: Technische und regulative Herausforderungen.....	28
4	Netzinnovationen und potenzielle Auswirkungen auf die Akzeptanz.....	31
5	Zusammenfassung.....	34
6	Literatur.....	35

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Prinzip des auftriebsgestützten AGS-Montageprozesses in ein geflutetes Leerrohrsystem im Bereich des Hochpunktmuffenschachtes	10
Abb. 2: Prinzip der AGS-Kabelverlegetechnik mit einstellbarer Auftriebscharakteristik.....	10
Abb. 3: AGS-Technik, Merkmale: Aktiv gekühlte Stromübertragung, aktive (kühltechnische) Betriebsführung für zwei AGS-HGÜ-Systeme, Trassenbreite rd. 1,7 m	12
Abb. 4: Weitgehende Kompensation des Magnetfeldes durch Anordnung der Kabelsysteme in einem symmetrischen Dreieck.	13

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Beschriftung ergänzen	7
Tab. 2: Übersicht über die relevanten Wirkfaktoren des AGS-Verfahrens.....	14
Tab. 3: Vorteile des AGS-Verfahrens gegenüber herkömmlichen Erdkabeln in Bezug auf die Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen	26
Tab. 4: Länge Infrastrukturnetze	29
Tab. 5: Vor- und Nachteile einer Bündelung von Infrastrukturen	29
Tab. 6: Akzeptanz unterschiedlicher Netztechnologien.....	32

1 Einleitung

Deutschland hat sich sehr ehrgeizige energie- und klimapolitische Ziele gesetzt und will bis 2050 die Treibhausgasemissionen um 80-95 % gegenüber 1990 reduzieren. Eine nachhaltige Unterstützung hat dieses Ziel vor allem durch das Pariser Klimaschutzabkommen von Ende 2015 erfahren, in dem sich die Weltgemeinschaft verbindlich auf Maßnahmen verständigt hat, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen auf 2 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu beschränken.

Der Energiesektor spielt dabei in allen Klimaschutzstrategien die zentrale Rolle. Der Umbau des Energiesystems in Richtung auf eine CO₂-freie Versorgung ist mit massiven Investitionen in die Energieinfrastruktur verbunden. Dies betrifft vor allem neue Energieerzeugungsanlagen und Energiespeicher, vor allem aber auch den Ausbau von Stromnetzen.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien, die veränderte Standortverteilung von Energieerzeugungsanlagen und die Notwendigkeit einer verstärkten europäischen Integration erfordern Investitionen sowohl in die Übertragungs- als auch in die Verteilungsnetze. Die Netzausbaukosten werden bis zum Jahre 2030 auf rd. 70 Mrd. Euro veranschlagt. Davon entfallen auf das Übertragungsnetz etwa 20- 25 Mrd. Euro, auf die Offshore- Netzanbindung rd. 15-20 Mrd. Euro und auf den Ausbau der Verteilnetze 20-25 Mrd. Euro (WAGENHÄUSER 2015, RADTKE ET.AL. 2015)

Die unzureichende Abstimmung des Netzausbaus mit den Fortschritten beim Ausbau der erneuerbaren Energien führt bereits heute zu der Zunahme der Situationen, in denen auf unterschiedliche Weise Eingriffe in Stromversorgungssysteme notwendig werden, um die Systemsicherheit zu gewährleisten. Die Kosten für Redispatch-Maßnahmen oder für die Abregelung von erneuerbaren Energieanlagen beliefen sich im Berichtsjahr 2015 auf rd. 1,3 Mrd. Euro (ET- REDAKTION 2016) Projektionen gehen von einem weiteren Anstieg bei unveränderten Rahmenbedingungen aus.

Mit der EEG – Novelle 2016 hat die Bundesregierung darauf reagiert und strebt über den § 36c eine verbesserte Synchronisation des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Netze an. Die Bundesnetzagentur kann bei vorhandenen Netzengpässen sog. Netzausbaugebiete definieren, in denen der jährliche Zubau von Windkraftanlagen begrenzt werden kann (BUNDESREGIERUNG 2016)

Alle Projektionen des Netzausbaubedarfs sind sehr stark von Annahmen abhängig. Die aktuellen Debatten drehen sich u.a. um die Möglichkeiten, durch eine Stärkung dezentraler Strukturen und durch die Nutzung weiterer Flexibilitätsoptionen (Energiespeicher, Demand Side Management etc.) und durch die intelligente Steuerung den Neubaubedarf an Netzen zu reduzieren (U.A. KEMFERT ET.AL. 2016, MIETH ET.AL.2015, SCHABER/BIEBERBACH 2015). Diese Potenziale hängen wiederum davon ab, wie schnell diese Flexibilitätsoptionen einsatzfähig sind. Vor diesem Hintergrund ist weitgehend unstrittig, dass der Ausbau der Netzinfrastruktur eine der zentralen Voraussetzungen für das Gelingen der Energiewende ist.

Die Monitoringberichte der Bundesnetzagentur weisen seit Jahren auf die erheblichen Verzögerungen beim Netzausbau hin. Die Ursachen sind dabei vielfältig, aber die mangelnde Akzeptanz des Netzausbaus in der Bevölkerung spielt dabei eine nicht unwesentliche Rolle. Der lokale Widerstand richtet sich dabei vor allem gegen den bislang dominierenden

Freileitungsbau. Eingriffe in Natur und Landschaft, Störungen des Landschaftsbildes, aber auch potenzielle Gesundheitsgefahren für Bewohner und Bewohnerinnen in der Nähe von Freileitungen sind dabei die wichtigsten Argumente. In der Erdverkabelung wird daher eine Möglichkeit gesehen, diesen Bedenken entgegenzutreten. Im Vergleich zum Freileitungsbau können die Kosten der Erdverkabelung je nach örtlichen Bedingungen um das 3 bis 10 fache höher sein. (WENDT 2015, DENA 2014). Bezogen auf das Gesamtsystem können aber durch die Vorteile einer schnelleren Realisierung der Netzausbauvorhaben ein Teil dieser Mehrkosten wieder kompensiert werden. Die zur zögerliche Umsetzung der Erdverkabelung ist aber auch technologisch begründet, da gerade bei der Erdverkabelung über längere Strecken im Höchstspannungsbereich auch technisches Neuland betreten wird.

Mit dem Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) sind die Grundlagen für die Beschleunigung des Ausbaus und der Ertüchtigung länderübergreifender und grenzüberschreitender Höchstspannungsleitungen geschaffen worden.

Mit dem Gesetz zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsausbaus, das am 31. Dezember 2015 in Kraft getreten ist, hat der Gesetzgeber der Erdverkabelung bei dem Bau von Höchstspannungsübertragungsnetzen für Gleichstrom den Vorrang gegeben und damit auf den massiven Widerstand einiger Bundesländer und der fehlenden Akzeptanz auf Seiten der Bevölkerung für den Neubau von Freileitungen reagiert.

Das Gesetz beinhaltet die Änderung einer Vielzahl von bestehenden Gesetzen und Verordnungen (Energiewirtschaftsgesetz, UVP, Verwaltungsgerichtsordnung, Anreizregulierungsverordnung, Energieleitungsausbaugesetz EnLAG, Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz, Bundesbedarfsplangesetz BBPLG), um den Vorrang von Erdkabeln zu regeln (MARKEWITZ 2016).

In diesem Zusammenhang spielt der § 6 des NABEG – Antrag auf Bundesfachplanung - eine bedeutende Rolle. Die Bundesfachplanung erfolgt durch Antrag auf Realisierung eines Vorhabens durch den Übertragungsnetzbetreiber bei der Bundesnetzagentur. Insbesondere in Ziffer 2 des § 6 NABEG werden die Planungsanforderungen im Hinblick auf die erkennbaren Umweltauswirkungen und der zu bewältigenden raumordnerischen Konflikte herausgestellt. Das Positionspapier der Bundesnetzagentur für Anträge nach dem § 6 NABEG (Bundesfachplanung für Gleichstrom-Vorhaben mit gesetzlichem Erdkabelvorrang) beschreibt u. a. die gesetzlichen, als auch die methodischen Anforderungen an einen Antrag auf Bundesfachplanung. (BUNDESNETZAGENTUR 2016A).

Die wesentlichen rechtlichen Grundlagen der Netzausbauplanung mit Blick auf den Erdkabelvorrang sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 1: Beschriftung ergänzen

Quelle: BUNDESNETZAGENTUR (2016A).

Antragsinhalte nach § 6 NABEG	Erdkabelvorrang nach § 3 BBPIG	Gebot der Geradlinigkeit nach § 5 Abs. 2 NABEG
<ul style="list-style-type: none"> • Vorhabenträger hat einen Vorschlags-trassenkorridor und in Frage kommende Alternativen darzulegen • Alternativen sind unter Berücksichtigung erkennbarer Umweltauswirkungen und raum-ordnerischer Konflikte zu erläutern. • Bei mit „E“ gekennzeichneten HGÜ-Vorhaben sind Erdkabel- und Freileitungsabschnitte sowohl im Vorschlagstrassenkorridor als auch bei den Alternativen zu benennen • Freileitungsabschnitte sind zu begründen • Der Antrag muss Angaben enthalten, die die Festlegung des Untersuchungsrahmens ermöglichen. • der Vorhabenträger hat im Verlaufe der Bundesfachplanung weitere Unterlagen vorzulegen • die Bundesnetzagentur legt nach Durchführung einer Antragskonferenz den Untersuchungsrahmen fest • die Bundesnetzagentur bestimmt den erforderlichen Inhalt (Umfang der Alternativenprüfung, Prüftiefe und Detaillierungsgrad) der vom Vorhabenträger einzureichenden Unterlagen. • Vorzulegen sind Unterlagen, die für die raumordnerische Beurteilung und die Strategische Umweltprüfung der Trassenkorridore erforderlich sind 	<ul style="list-style-type: none"> • § 3 BBPIG legt für die mit „E“ gekennzeichneten Vorhaben einen Erdkabelvorrang fest. • Nur in gesetzlich abschließend geregelten Fällen kann auf Teilabschnitten ausnahmsweise eine Freileitung errichtet, betrieben oder geändert werden: • Wenn ein Erdkabel gegen die Verbote des besonderen Artenschutzes verstieße und eine Freileitung eine zumutbare Alternative ist • Wenn ein Erdkabel wegen erheblicher Beeinträchtigungen eines Natura- 2000-Gebietes unzulässig wäre und mit dem Einsatz einer Freileitung eine zumutbare Alternative gegeben ist • eine Freileitung unmittelbar neben der Trasse einer bestehenden oder bereits zugelassenen Hoch- oder Höchstspannungsleitung errichtet und betrieben oder geändert werden kann und keine zusätzlichen Umweltauswirkungen zu erwarten sind • Eine Freileitungs – Lösung ist jedoch stets dann ausgeschlossen, wenn die Leitung in einem Abstand von weniger als 400 m zu Wohngebäuden errichtet werden soll 	<ul style="list-style-type: none"> • Bundesnetzagentur prüft bei mit „E“ gekennzeichneten HGÜ-Vorhaben, inwie weit ein möglichst geradliniger Luftlinie - orientierten Verlauf eines Trassen - korridors erreicht werden kann. • Diesem Planungsgrundsatz kommt in der Abwägung ein besonderes Gewicht zu. • Es gibt eine Reihe von Belangen, denen über das Kriterium der an der Geradli- nigkeit grundsätzlich Rechnung getragen werden kann (z.B. kurze Verbindung, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Reduzierung von Eigentümerbetroffen- heiten, Reduzierung von Eingriffen in Natur und Landschaft). • Gesetzgeber hat für diesen Planungs- grundsatz jedoch keinen absoluten Geltungsanspruch normiert, in Abwägung mit anderen Planungsgrundsätzen und gewichtigen Belangen, kann es ganz oder teilweise zurückgestellt werden • die Vorschrift lässt dem Vorhabenträger den planerischen Spielraum, die Gründe für die Zurückstellung des Planungsgrundsatzes ist jedoch unter Berücksichtigung der konkreten räumlichen Planungssituation darzulegen

Die AGS-Verfahrenstechnik stellt einen Ansatz da, der neue Möglichkeiten eröffnet, die Nachteile der bisherigen Erdverkabelung zu beheben. Das AGS-Konzept folgt dem Gebot der Infrastrukturbündelung sowie dem Gebot der Geradlinigkeit der Trassenführung, um einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Akzeptanz in der Bevölkerung zu leisten. Die technische Erprobung des Verfahrens in einer Pilot- und Teststrecke ist in der Realisierungsphase.

Im Vordergrund dieses Kurzgutachtens steht die Bewertung des AGS-Verfahrens aus umweltfachlicher Sicht. Die Untersuchung kann vor dem Hintergrund des Entwicklungsstandes des Verfahrens nur vorläufig sein; die potenziellen Vorteile und auch die spezifischen Herausforderungen werden sich im o. g. Testfeld zeigen müssen.

Kapitel 2 beschreibt im Folgenden kurz das AGS Verfahren, soweit es für die umweltfachliche Bewertung erforderlich ist und geht darauf aufbauend detaillierter auf die Auswirkungen des Baus und des Betriebs in einer gebündelten Netzinfrastruktur auf die unterschiedlichen Umweltschutzgüter ein. Kapitel 3 geht noch einmal explizit auf die Möglichkeiten der Bündelung von AGS-Trassen mit anderen linienförmigen Infrastrukturen ein, Kapitel 4 befasst sich mit den potenziellen Auswirkungen der Verfahrenstechnik auf die Akzeptanz des Netzausbaus. Kapitel 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

2 Umweltbewertung

Wirkfaktoren von Erdkabeln und ihre Auswirkungen auf die Umweltschutzgüter wurden vielfach beschrieben und bewertet, wobei – geschuldet der früheren gesetzlichen Vorgaben – häufig der Vergleich mit den Umweltwirkungen von Freileitungen im Vordergrund stand.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des BMU (EFZN 2011) wurde eine umfassende Literaturstudie zu Umweltwirkungen von Höchstspannungskabeln und Höchstspannungsfreileitungen erstellt. Im Auftrag des BfN (Bundesamt für Naturschutz) wurde 2009 in einem Forschungsvorhaben eine naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen erstellt, deren Ergebnisse in gewissem Umfang auch auf andere naturräumliche Regionen übertragen werden können. Diese Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben beschreiben die grundsätzlich zu erwartenden Umweltwirkungen von Stromleitungen und besitzen aktuell noch Gültigkeit. Im Folgenden wird daher weitgehend auf die Ergebnisse dieser beiden Forschungsvorhaben zurückgegriffen.

Es wird geprüft, inwieweit die Umweltwirkungen des AGS-Verfahrens mit den Umweltwirkungen der herkömmlichen Kabelverlegungsverfahren vergleichbar sind und ob und inwieweit sich durch die neue Technik Möglichkeiten der Vermeidung und Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen ergeben. Am 25.04.2014 wurde die „UVP-Änderungsrichtlinie“ als Richtlinie 2014/52/EU veröffentlicht. Da die hier enthaltenen Regelungen innerhalb einer Frist von drei Jahren umzusetzen sind, erfolgt eine Fokussierung auf die in der Änderungsrichtlinie genannten Umweltschutzgüter

- Bevölkerung und menschliche Gesundheit;
- biologische Vielfalt, unter besonderer Berücksichtigung der gemäß der Richtlinie 92/43/EWG und der Richtlinie 2009/147/EG geschützten Arten und Lebensräume;
- Fläche, Boden, Wasser, Luft und Klima;
- Sachgüter, kulturelles Erbe und Landschaft

2.1 Technische Eckpunkte des Verfahrens

Die AGS-Verfahrenstechnik ist im Kern eine innovative Kabelverlegetechnik für Übertragungs- und Verteilnetze. Hauptkomponente ist das sogenannte auftriebsgestützte Slipping, bei dem ein Kabeltransportrohr mit innen liegendem Kabel über Rollen in ein wassergefülltes Leerrohrsystem eingeführt wird (Abb. 1). Für den so speziell ausgelegten und hergestellten Kabeltransportrohrstrang gilt annähernd die Bedingung: Auftrieb abzgl. Gewicht gleich null (Abb. 2). Die Kabelverlegung erfolgt über einen Einführungsschacht. Hierdurch wird es ermöglicht, dass die Verlegung des Kabels zugbelastungsfrei erfolgen kann und dementsprechend auch ultralange Teilstücke verlegt werden können

Die Verlegung der Leerrohre erfolgt mittels konventioneller Verfahren, z.B. als Verlegung in offenem Graben oder mit einem Bohrverfahren.

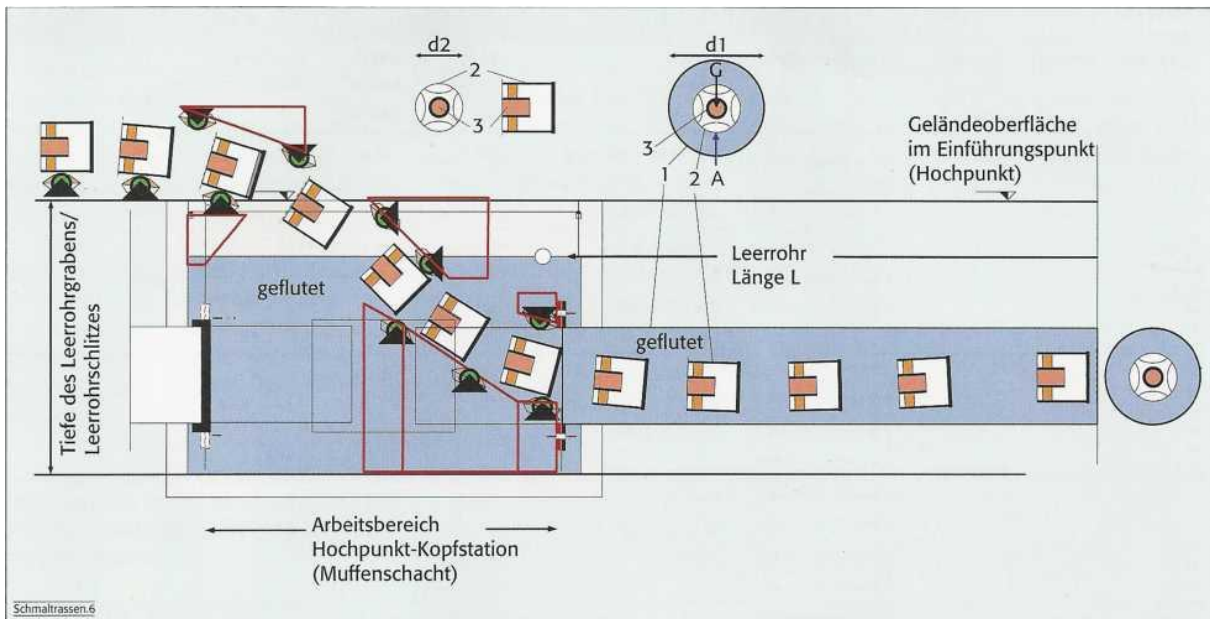


Abb. 1: Prinzip des auftriebsgestützten AGS-Montageprozesses in ein geflutetes Leerrohrsystem im Bereich des Hochpunktmuffenschachtes

Quelle: HAMANN & SPIEGEL (2015)

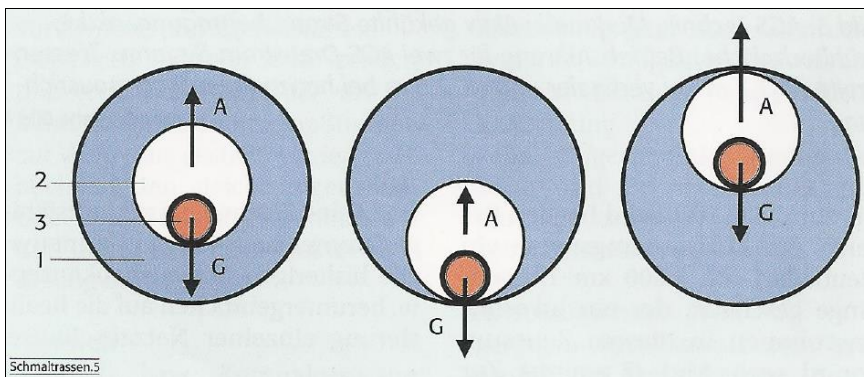
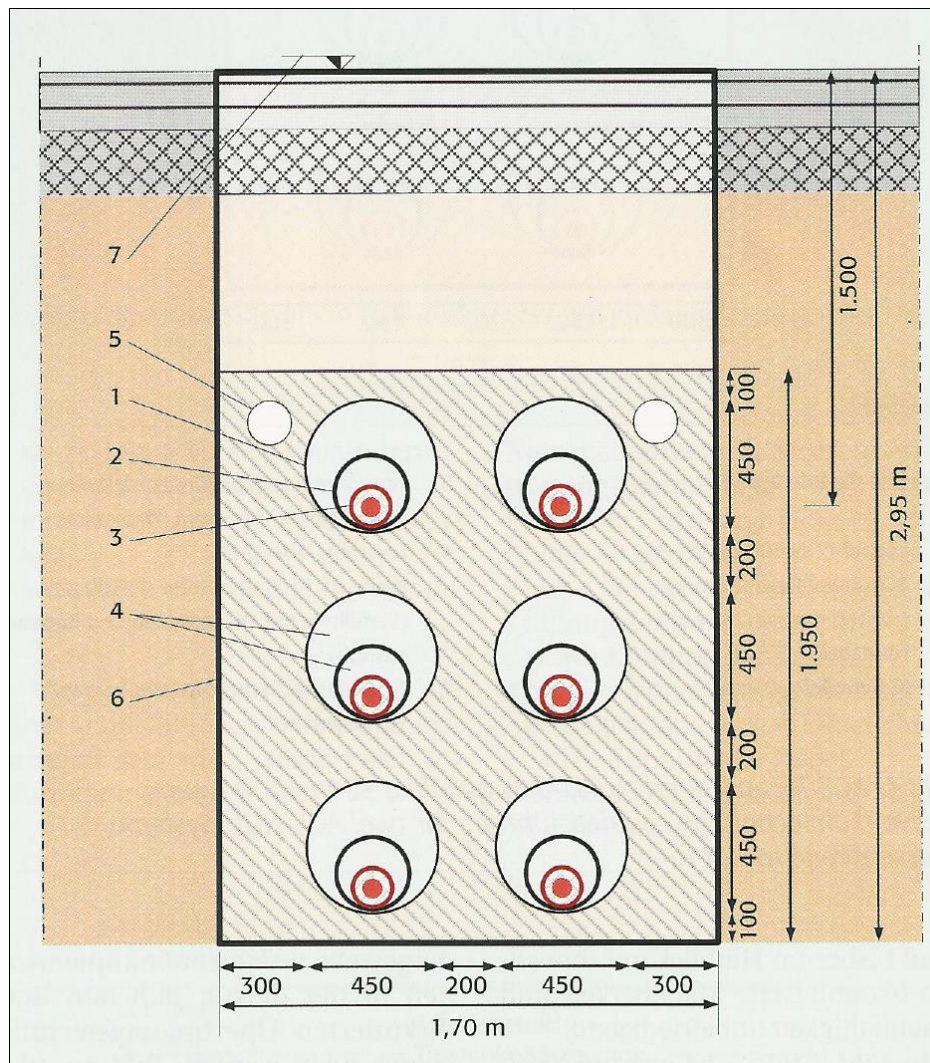


Abb. 2: Prinzip der AGS-Kabelverlegetechnik mit einstellbarer Auftriebscharakteristik
Quelle: HAMANN & SPIEGEL (2015)

Letztlich ist die verlegbare Kabellänge nur noch von der transportierbaren Länge des Kabels abhängig. Da üblicherweise auf eine Kabelspule ca. 900 m Höchstspannungskabel gewickelt werden, ist mit dem AGS-Verfahren vorgesehen, den Kabeltransport mit zwei Kabelspulen durchzuführen, so dass doppelt so lange Teilstücke (ca. 2 km) umsetzbar sind. Heutzutage werden mit herkömmlichen Erdkabelverlegeverfahren durch direktes Abtrommeln von einer Kabelspule in ein Kabelschutzrohr durch Ziehen am Kabel (unter Berücksichtigung zulässiger Kabelzugkräfte) gut 1 km lange Kabelteilabschnitte verlegt, ohne das Kabel zu beschädigen. Dieses ist aber nur in weniger kurvenreichen Trassenabschnitten möglich sowie mit einem entsprechenden Kabeldesign; ein mäandern, um z.B. Bepflanzungen zu umgehen oder Steigungen zu meistern, sind über diese Länge durch Ziehen am Kabel ohne Gefahr einer Kabelbeschädigung aufgrund der Zugkraftbelastung stark eingeschränkt. Beim AGS-Verlegeverfahren spielen diese Umstände eine untergeordnete Rolle, da während des Verlegevorganges somit eine zugbelastungsfreie Montage für das Kabel sichergestellt werden kann. Für die Trassenplanung ergeben sich dadurch größere Freiheitsgrade in der

Trassierung; durch das auftriebsgestützte Slipping kann erwartet werden, engere Kurvenverläufe zu realisieren. Die Verlegung ultralanger Kabelteilabschnitte geht mit einer signifikanten Verminderung der Anzahl von Verbindungsmuffen und Bauwerken im Trassenverlauf einher, auch aufgrund der passiven Wasserkühlung mit schmaleren Trassen - damit sind auch Vorteile in Bezug auf Wirtschaftlichkeit sowie Betriebssicherheit zu erwarten. Durch die Reversibilität des patentierten Verlegeverfahrens werden Wartung und Kabelaustausch vereinfacht. So ist das Kabel für Reparaturarbeiten über den Muffenschacht zugänglich. Es kann mittels des Auftriebverfahrens wieder zugbelastungsfrei aus dem Leerrohr gezogen, repariert oder ersetzt werden. Baggerarbeiten im Bereich der Trasse können damit weitgehend entfallen.

Optional kann die AGS-Kabelverlegetechnik mit der AGS-Betriebstechnik kombiniert werden, d.h. AGS ermöglicht neben einer innovativen Kabelverlegetechnik auch eine aktiv gekühlte Stromübertragung, die möglichst auf Höchstspannungsebene stattfindet. Mit der Option der aktiv gekühlten Stromübertragung werden die physikalischen und technischen Voraussetzungen geschaffen, um Kompakt- und Schmaltrassen zu errichten (Trassenbreite ca. 2 m; Verlegung auch in tieferen Bodenschichten). Ausschlaggebend für die Trassenbreite ist die Realisierung einer engen und räumlichen Anordnung des Kabelsystems, im Vergleich zur herkömmlichen, flächig nebeneinander verlegten Erdkabeln (siehe Abb. 3 und Abb. 4).



- 1 Leerrohr DN 400 bis DN 600
- 2 AGS Kabel-Transportrohr (d2 160 mm bis 250 mm)
- 3 HV-Kabel
- 4 Kühlmedium (Wasser)
- 5 Leerrohre für sekundäre Energieversorgung, IKT, Betriebsstrom, Wasser, etc.
- 6 Leerrohrgrabenprofil:
Breite rd. 1700 mm; Tiefe < 2300 mm (Verfüllung mit Flüssigboden und Bodenaushub)
- 7 Geländeoberfläche, Straßenoberbau/ Standstreifen
- 8

Abb. 3: AGS-Technik, Merkmale: Aktiv gekühlte Stromübertragung, aktive (kühltechnische) Betriebsführung für zwei AGS-HGÜ-Systeme, Trassenbreite rd. 1,7 m

Quelle: HAMANN & SPIEGEL (2015)

Die Möglichkeit mit dem AGS-Verfahren somit auch Schmaltrassen verwirklichen zu können erlaubt erstmalig Stromübertragungstrassen mit z.B. Autobahnen oder Wasserstraßen zu kombinieren. Damit wird § 6 NABEG in doppelter Hinsicht Rechnung getragen: Geradlinigkeit und Infrastrukturbündelung (über die Bündelung von Höchst-, Hoch- und. Mittelspannung hinaus, etwa Autobahnen und Wasserstraßen). Darüber hinaus wird die Zusammenführung von Strom- und Datenübertragung (Breitbandkabel) sowie der Ausbau der Infrastruktur für Elektromobilität durch AGS begünstigt.

Weiterhin ist mit der AGS-Verfahrenstechnik auch eine Kabelanordnung umsetzbar, bei der eine weitgehende Kompensation des Magnetfeldes, so wie bei BRAKELMANN *et al.* (2013) beschrieben, erfolgt (Abb. 4). Bei herkömmlichen flächig nebeneinander verlegten Erdkabeln ist dieser Kompensationseffekt nur bedingt bzw. eingeschränkt erreichbar

Insgesamt ergeben sich durch die AGS-Betriebstechnik Möglichkeiten zur Minimierung der von einer Anlage ausgehenden magnetischen Felder, so wie es im 26. BImSchVVwV (Stand Februar 2016) vorgesehen ist. Die Kabel können mit möglichst geringem Abstand zueinander und tief im Boden verlegt werden und die magnetischen Felder können sich bestmöglich kompensieren.

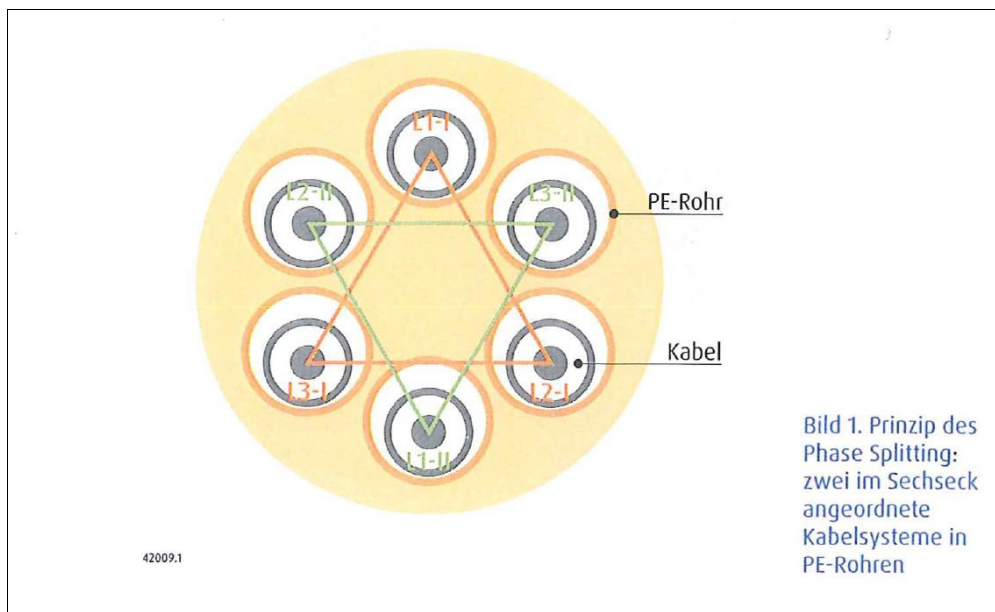


Abb. 4: Weitgehende Kompensation des Magnetfeldes durch Anordnung der Kabelsysteme in einem symmetrischen Dreieck.

Bei Beaufschlagung mit Drehstrom erzeugen die Kabelsysteme ein rotierendes Drehfeld. Bei Beaufschlagung beider Systeme mit der gleichen Phasenfolge ist das Drehfeld des zweiten Kabelsystems gegenüber dem Drehfeld des ersten Kabelsystems aus räumliche Gründen um 180° nachlaufend – ihm entgegengesetzt. Damit findet eine weitgehende Auslöschung des resultierenden Drehfeldes statt.

Quelle: BRAKELMANN *et al.* (2013)

2.2 Identifizierung der möglichen Wirkfaktoren in Bezug auf Anlage, Bau, und Betrieb (Unterhaltung)

Die Wirkfaktoren des AGS-Verfahrens sind in Ihrer Art vergleichbar mit den Wirkfaktoren der herkömmlichen Kabelverlegung, Unterschiede ergeben sich insbesondere in Bezug auf Ausmaß und Intensität der Wirkung.

Tab. 2: Übersicht über die relevanten Wirkfaktoren des AGS-Verfahrens

Wirkfaktor	Schutzgut	Art der Auswirkung
Baubedingte Wirkfaktoren		
Flächeninanspruchnahme/Verdichtung (Zuwegungen, Lagerflächen, Anlage des Grabens)	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	nicht relevant
	Biologische Vielfalt	Verdrängung und Verlust von Tieren
	Fläche	nicht relevant, da zeitlich befristete Inanspruchnahme
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	nicht relevant
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	ggf. Beeinträchtigung und Verlust von Natur- und Kulturdenkmälern
	Landschaft	nicht relevant
Grundwasserhaltung	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	nicht relevant
	Biologische Vielfalt	Beeinträchtigung der Habitatfunktion
	Fläche	nicht relevant
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	Grundwasserabsenkung
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	nicht relevant
	Landschaft	nicht relevant
Emissionen akustische - optische - stoffliche - Erschütterungen	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	Störung durch Lärm, Erschütterungen und optische Emissionen
	Biologische Vielfalt	Störung von Tieren durch Lärm, Erschütterungen und optische Emissionen
	Fläche	nicht relevant
	Boden	nicht relevant
	Wasser	nicht relevant
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	nicht relevant
	Landschaft	Beeinträchtigung des Sichtgefüges durch Baumaschinen und -fahrzeuge

Anlagebedingte und betriebsbedingt Wirkfaktoren incl. Reparatur- und Unterhaltungsmaßnahmen		
Flächeninanspruchnahme/Trassenfreihaltung	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	nicht relevant
	Biologische Vielfalt	Verdrängung, Zerschneidung von Habitaten
	Fläche	Nutzungseinschränkung
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	nicht relevant
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	Nutzungseinschränkungen
	Landschaft	Beeinträchtigung des Sichtgefüges durch Schneisen
Bodenverlust und Einbringung von Fremdkörpern	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	nicht relevant
	Biologische Vielfalt	Verlust von Wurzelraum
	Fläche	nicht relevant
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	nicht relevant
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	Beeinträchtigung von Bodendenkmalen, Nutzungseinschränkungen
	Landschaft	nicht relevant
Erwärmung	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	nicht relevant
	Biologische Vielfalt	Veränderung von Habitaten
	Fläche	nicht relevant
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	nicht relevant
	Luft und Klima	Veränderung des Mikroklimas
	Sachgüter und kulturelles Erbe	nicht relevant
	Landschaft	nicht relevant

Drainagewirkung	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	nicht relevant
	Biologische Vielfalt	Veränderung von Habitaten
	Fläche	nicht relevant
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	Veränderung des Grundwasserhaushaltes
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	nicht relevant
	Landschaft	Nutzungseinschränkungen
Magnetische Feldwirkungen	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	Beeinträchtigung der menschliche Gesundheit
	Biologische Vielfalt	Beeinträchtigung der Wahrnehmung des Magnetfeldes
	Fläche	nicht relevant
	Boden	nicht relevant
	Wasser	nicht relevant
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	nicht relevant
	Landschaft	nicht relevant
Reparatur- und Unterhaltungsmaßnahmen	Bevölkerung und menschliche Gesundheit	Störung durch Lärm, Erschütterungen und optische Emissionen
	Biologische Vielfalt	Störung, Verdrängung und Verlust von Tieren und Beeinträchtigung der Habitatfunktion
	Fläche	nicht relevant, da zeitlich befristete Inanspruchnahme
	Boden	Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes
	Wasser	Grundwasserabsenkungen
	Luft und Klima	nicht relevant
	Sachgüter und kulturelles Erbe	nicht relevant
	Landschaft	Beeinträchtigung des Sichtgefüges durch Baumaschinen und -fahrzeuge

2.3 Auswirkungen der Wirkfaktoren auf die Umweltschutzgüter

Jeder der o.a. Wirkfaktoren tritt auch bei der herkömmlichen Erdkabelverlegung auf. Allerdings ist ihre Reichweite und Intensität durch den geringeren Flächenbedarf und die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen beim AGS-Verfahren reduziert. Im Folgenden werden Auswirkungen der Wirkfaktoren auf die Umweltschutzgüter gem. UVPG überschlägig abgeschätzt und den Auswirkungen, die bei der herkömmlichen Verlegetechnik auftreten können, gegenübergestellt. Möglichkeiten der Vermeidung und Minimierung von Auswirkungen auf besonders bewertungsrelevante Naturräume und Schutzgüter werden herausgestellt.

2.3.1 Baubedingte Wirkfaktoren

Baubedingte Wirkfaktoren zeichnen sich dadurch aus, dass sie zeitlich auf die Bauphase begrenzt sind und sich in vielen Fällen – nach Abschluss der Bauarbeiten – ein unbeeinträchtigter Umweltzustand wieder einstellt. Nichts desto trotz kann es durch die baubedingten Wirkfaktoren zu erheblichen Umweltwirkungen kommen, die so weit es geht zu vermeiden oder zu minimieren sind. Unvermeidbare Beeinträchtigungen sind zu kompensieren (§ 15 BNatSchG). Es ist sicherzustellen, dass es durch die Maßnahmen nicht zu einer erheblichen Beeinträchtigung gesetzlich geschützter Teile von Natur und Landschaft (§§ 20-30 BNatSchG) oder zur Tötung oder Störung besonders geschützter Arten kommt (§44 BNatSchG) und die Erhaltungsziele von Natura-2000 Gebieten nicht beeinträchtigt werden (§ 34 BNatSchG).

2.3.1.1 Baubedingte Flächeninanspruchnahme/Verdichtung (Zuwegungen, Lagerflächen, Anlage des Grabens)

Flächeninanspruchnahmen treten baubedingt in Folge der Herstellung des Verlegegrabens, der Muffenschächte, von Zufahrtswegen/Baustraßen und Lagerflächen auf.

Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, insbesondere Veränderungen von Bodenaufbau, Bodenwasserhaushalt und Lebensraumfunktion sowie der Archivfunktion von Böden sind bei der Verlegung von Erdkabeln grundsätzlich nicht zu vermeiden. Jedoch können Umfang und Intensität der Beeinträchtigung durch die Wahl der Trasse und der Verlegetechnik minimiert werden.

Bei der offenen Verlegung führt die Entnahme und Durchmischung des Bodensubstrates zum Verlust oder zu einer nachhaltigen Veränderung der Bodenfunktionen, wie z.B. der Lebensraumfunktion oder der Filterfunktion für Nähr- und Schadstoffe, der Archivfunktion oder der Nutzungsfunktion. Zudem können archäologische Denkmäler und Kulturdenkmäler wie beispielsweise Grabhügel und Geotope beschädigt oder zerstört werden. Die Herstellung von Lagerflächen und/oder Baustraßen sowie der Einsatz schwerer Baumaschinen führen zu Verdichtungen und temporären Versiegelungen, die eine Veränderung der Luftkapazität und der Luft- und Wasserleitfähigkeit des Bodens zur Folge haben können.

Außer einer Verlegung im offenen Graben ist auch eine Verlegung mit einem Kabelpflug oder einer Kabelfräse denkbar. Darüber hinaus können Bohrverfahren (z.B.

Horizontalbohrverfahren) eingesetzt werden. Solche alternativen Verfahren bedeuten in der Regel auch eine Minimierung der nachteiligen Umweltwirkungen.

Alle in Anspruch genommenen Flächen gehen für die Dauer der Bauzeit als Lebensraum für Pflanzen und Tiere verloren und müssen nach dem Rückbau der Baustraße wiederbesiedelt werden. Während Tiere mit hoher Mobilität den betroffenen Bereich verlassen können, können andere Arten geschädigt oder getötet werden. Beeinträchtigungen besonders sensibler oder besonders geschützter Arten und Habitate sind unter Umständen irreversibel und müssen als erhebliche Umweltbeeinträchtigung bewertet werden.

Im Rahmen der Genehmigungsplanung werden im allgemeinen Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen vorgesehen, u. a. derart, dass streng geschützte Gebiete wie Naturschutzgebiete, Nationalparke, FFH-Gebiete, Biosphärenreservate (Zone 1+2), RAMSAR-Gebiete und gesetzlich geschützte Biotope gem. § 30 BNatSchG möglichst nicht in Anspruch genommen werden. Dies gilt prinzipiell auch für weniger streng geschützte Gebiete wie Landschaftsschutzgebiete, Biosphärenreservate (Zone 3) und Naturparke.

Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass es die Trassenführung bedingt, dass auch die o.g. sensiblen Bereiche betroffen werden. Dann sind i.d.R. Ausnahmen geltend zu machen, die bei Vorliegen von Allgemeinwohlinteressen und unter Berücksichtigung besonderer Kompensationsleistungen gewährt werden können.

Bei der offenen Grabenverlegung wird der Erdaushub grundsätzlich direkt neben dem Graben gelagert und zum Abschluss der Verlegearbeiten wieder eingebaut. Je schmaler der Graben, desto geringer ist zwangsläufig der für den Erdaushub sowie eventuell auch sonstige Zwischenlagerung oder Baustraßen erforderliche Flächenbedarf. Für die Bündelung der Erdverkabelung mit bereits bestehenden oder auch geplanten Infrastrukturen gilt der Vorbelastungsgrundsatz, nach dem Vorbelastungen die Schutzwürdigkeit mindern.

Durch die AGS-Kabelverlegetechnik wird die baubedingte Flächeninanspruchnahme sowohl hinsichtlich des Verlegegrabens als auch der Errichtung bzw. des Rückbaus von Baustraßen minimiert. Die AGS-Technik prädestiniert weitergehende Möglichkeiten zur Infrastrukturbündelung und damit eine Verlagerung von Beeinträchtigungen, eher in vorbelastete, weniger schutzwürdige Bereiche.

2.3.1.2 Grundwasserhaltung

Bei Baumaßnahmen in Böden mit hoch anstehendem Grundwasserstand ist für die Einbringung von Bettungssand und die Kabelverlegung eine Wasserhaltung bzw. Grundwasserabsenkung erforderlich.

Hierdurch kann es zu Beeinträchtigungen des Bodengefüges und der Bodenfunktionen kommen, wodurch auch Habitateigenschaften verändert bzw. beeinträchtigt werden können. Die Größe des Bereichs, der durch die Wasserhaltungsmaßnahmen beeinträchtigt wird, hängt von der Bodenbeschaffenheit bzw. dessen Wasserdurchlässigkeit ab; insgesamt kommt es jedoch selbst bei Böden mit hohen Wasserdurchlässigkeitskoeffizienten lediglich zu kleinräumigen Beeinträchtigungen. Zudem sind die Wasserhaltungsmaßnahmen nur von

geringer Dauer, da sie nach der Bauzeit beendet werden und die verursachten Auswirkungen reversibel sind.

Diese Maßnahme ist für das AGS-Verfahren und die herkömmliche Erdkabelverlegetechnik bei hochanstehendem Grundwasserstand grundsätzlich gleichermaßen erforderlich. Ein Reduzierungspotenzial für die Grundwasserhaltung kann sich durch schmalere Trassen bei AGS ergeben.

2.3.1.3 Emissionen

Während der Bauphase können erhöhte Abgas- und Staubemissionen in Folge des Einsatzes von Fahrzeugen und Baumaschinen entstehen, die jedoch bei ordnungsgemäßem Betrieb i.d.R. nicht zu signifikanten Kontaminationen oder zu nachhaltigen und negativen Veränderungen der klimatischen Verhältnisse führen.

Darüber hinaus können gegenüber Lärm, Erschütterungen oder optischen Reizen empfindliche Tierarten auch in angrenzenden Lebensräumen gestört werden. Die Auswirkungen können von der Meidung des entsprechenden Gebietes als Nahrungs- und Jagdrevier bis hin zur Aufgabe von Brutplätzen reichen. Weitere Wirkungen der Baustraße können wandernde Tierarten betreffen, für die Bauflächen und Baustraßen eine Wanderungsbarriere darstellen. Hier sind vor allem wandernde Amphibienarten zu nennen. Entscheidend für das Ausmaß der Beeinträchtigungen sind Intensität und Dauer der Störungen sowie die Jahreszeit, in der diese stattfinden. I.d.R. kann hier durch eine geeignete Wahl des Bauzeitenfensters eine Störung zu besonders empfindlichen Jahreszeiten (Brutzeiten, Zu- und Abwanderungen zum Laichgewässer) vermieden werden.

Entsprechend kann es in Bezug auf das Schutzgut Bevölkerung und menschliche Gesundheit zu einer Beeinträchtigung der Wohnumfeld- und Erholungsqualität im Umfeld der Baumaßnahmen kommen. Die Sichtbarkeit des Baufeldes kann das Landschaftsbild beeinträchtigen.

Ein Reduzierungspotenzial hinsichtlich des Wirkfaktors Emissionen kann sich beim AGS-Verfahren dann ergeben, wenn AGS-Trassen mit bestehenden Infrastrukturen wie der Bundesfernstraßen und Wasserstraßen gebündelt werden.

2.3.2 Anlagen- und betriebsbedingte Wirkfaktoren

Anlagen und betriebsbedingte Wirkfaktoren sind i.d.R. zeitlich unbefristet, bzw. auf den Zeitraum der Existenz der Anlage beschränkt. Beeinträchtigung des Umweltzustandes sind daher zunächst als dauerhaft zu betrachten. Auch hier gilt – wie bei den baubedingten Wirkungen – dass Beeinträchtigungen vordringlich zu vermeiden und zu minimieren sind. Unvermeidbare Beeinträchtigungen sind zu kompensieren (§ 15 BNatSchG) und es ist sicherzustellen, dass es durch die Maßnahmen nicht zu einer erheblichen Beeinträchtigung gesetzlich geschützter Teile von Natur und Landschaft (§§ 20-30 BNatSchG), zur Tötung

oder Störung besonders geschützter Arten (§44 BNatSchG) und Beeinträchtigungen der Erhaltungsziele von Natura-2000 Gebieten kommt (§ 34 BNatSchG).

Zu den betriebsbedingten Wirkfaktoren werden auch Maßnahmen zu Unterhalts- und Reparaturzwecken gerechnet. Diese sind nach ihrer Art vergleichbar mit baubedingten Wirkfaktoren. Um textliche Redundanzen zu vermeiden, wird daher für die Auswirkungsbeschreibung auf das Kapitel 2.3.1 verwiesen.

2.3.2.1 Anlagebedingte Flächeninanspruchnahme

Anlagebedingt kommt es im Bereich der Trasse zu Nutzungsbeschränkungen und damit ggf. auch zu einer Veränderung von Biotopen und Lebensraumtypen.

Beeinträchtigungen ergeben sich vor allem im Bereich von Gehölzbiotopen. So verbleibt bei Erdkabeln in Gebüsch und Wäldern eine breite Schneise. Dies kann sowohl zu einer Veränderung bzw. Beeinträchtigung der Habitatqualität führen als auch zu einer Einschränkung der forstwirtschaftlichen Nutzung.

Werden geschlossene Waldbestände durch die Anlage einer Schneise geöffnet, kommt es zu Veränderungen des typischen Waldinnenklimas. Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit nehmen zu, die Oberbodenbeschaffenheit und die Lebensraumqualität verändern sich. Bäume, die bisher geschlossen standen, sind durch die Freistellung einer erhöhten Windbruchgefahr ausgesetzt. Die verstärkte Sonneneinstrahlung führt zum so genannten Rindenbrand, bei dem die Baumrinde aufspringt und abstirbt. Dieser erhöht wiederum das Risiko eines sekundären Pilz- oder sonstigen Schädlingsbefalls.

Bei Gehölzbiotopen kann die Schneise auch eine Wanderbarriere für Tiere darstellen, die für ihre Wanderung auf den Schutz von Gehölzen angewiesen sind (z.B. Wildkatzen, aber auch wenig mobile Insekten). Zudem können diese Schneisen eine Beeinträchtigung für das Landschaftsbild darstellen.

Im Offenland ist die Trasse ein Jahr nach Fertigstellung aus der Perspektive des Durchschnittsbetrachters nicht mehr zu erkennen. Barrierewirkungen ergeben sich nicht. Die landwirtschaftliche Nutzung kann i.d.R. ohne Einschränkung erfolgen.

Ist bei Kabeln die Entfernung aller tiefwurzelnden Pflanzen im Trassenbereich erforderlich, müssen in regelmäßigen Abständen Rodungsarbeiten durchgeführt werden. Diese führen nicht nur zu Schäden an der Vegetation, sondern auch zu Störungen von Tieren, die jedoch durch eine geeignete Wahl des Arbeitsfensters in besonders empfindlichen Jahreszeiten (Brutzeiten, Zu- und Abwanderungen zum Laichgewässer) vermieden werden können.

Beim Kabelbetrieb muss der Reparatur- bzw. der Kabelaustauschprozess berücksichtigt werden, da hierdurch Nutzungen als auch eine gezielte Entwicklung besonderer Biotope (z.B. Gehölzbiotope, Feuchtwiesen) beeinträchtigt werden können.

Neben der eigentlichen Trasse führen auch Nebenbauwerke wie Muffenbauwerke, Schachtbauwerke, Umrichterstationen und Kabelübergangsanlagen zu Flächeninanspruchnahmen.

Bei der AGS-Kabelverlegetechnik können Reparaturarbeiten von den Muffenschächten aus durchgeführt werden. Die Freihaltung der Kabeltrasse für Reparaturarbeiten und die hiermit verbundene Trassenfreihaltung ist nicht erforderlich. Durch die Möglichkeit auch ultralange Teilstücke (Größenordnung 2 km) verlegen zu können, reduziert sich die Anzahl der erforderlichen Muffenschächte und der hiermit verbundene Flächenbedarf. Dies kann eventuell auch eine Verkürzung der Bauzeit bedingen.

Durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen, werden dem ROG und dem BNatSchG Rechnung getragen, indem die erstmalige Nutzung von Freiflächen minimiert werden kann, weiterer Zerschneidung entgegengewirkt wird und Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes so gering wie möglich gehalten werden.

Durch die AGS-Kabelverlegetechnik wird die anlagenbedingte Flächeninanspruchnahme dadurch minimiert, dass eine Trassenfreihaltung für Reparatur- und Unterhaltungsarbeiten nicht erforderlich ist. Hierdurch wird auch die Entstehung von Schneisen und Wanderbarrieren vermindert. Durch die Verringerung der Zahl der Muffenschächte erfolgt eine weitere Minimierung des Flächenbedarfs.

Durch die Möglichkeit der Infrastrukturbündelung und der hiermit verbundenen Mehrfachnutzung von Fläche wird weiterem Flächenverbrauch entgegengewirkt.

2.3.2.2 Erwärmung

Die Größenordnung der Verlustleistung eines Höchstspannungskabels liegt etwa bei 50-100 W/m. Allerdings ist zu beachten, dass Höchstspannungskabel im normalen Netzbetrieb nie voll ausgelastet werden, so dass im störungsfreien Betrieb jedes System nur mit 50 % der Höchstlast das Kabel beansprucht wird (GFN & GEO 2009).

Der Betrieb von Höchstspannungskabeln kann sich hinsichtlich potenzieller Erwärmung und Austrocknung nachteilig auf den Boden auswirken. Maßgeblich für das Risiko des Auftretens von Situationen mit einer starken Bodenerwärmung ist die technische Auslegung des jeweiligen Höchstspannungskabels sowie die Art seiner thermischen Bettung. Ab einer Bodenerwärmung um 15 K bei Dauerlast und 25 K bei zyklischer Belastung setzt in grundwasserfernen Schichten eine Austrocknung des Bodens ein. Da vollständig ausgetrocknete Böden nur etwa 40 % der Wärmeleitfähigkeit eines feuchten Bodens aufweisen, wird die Wärme schlechter abtransportiert, so dass vielfach bereits aus technischen Gründen Maßnahmen zur Reduktion der Bodenerwärmung ergriffen werden müssen, um hohen Kabeltemperaturen und damit Kabelschäden vorzubeugen. Dies kann entweder durch eine Einbettung des Kabels in thermisch stabilisierte Materialien wie gestufte Sande oder Magerbeton oder auch durch die Sicherstellung des Wärmeabtransports mittels einer Zwangskühlung (z.B. laterale Wasserkühlung) geschehen (s. auch Kap. 2.3.2.3).

Eine Erhöhung der Bodentemperatur beeinflusst die Materialeigenschaften der Bodenbestandteile (z.B. Oberflächenspannung, Viskosität der Bodenlösung) und beschleunigt sowohl die bodenchemischen und -physikalischen Prozesse wie Entkalkung und Nährstoffauswaschung als auch den Stoffwechsel und die Wachstumsprozesse von Organismen (z.B. Keimung von Samen oder Wachstum von Mikroorganismen). Die Beschleunigung des (biologischen) Abbaus von organischem Material ist besonders in

Moorböden von Bedeutung, da eine Temperaturerhöhung die Stickstoffmineralisation und die Torfsackung beschleunigt. Dieser Effekt ist insbesondere bei entwässerten Torfen von hoher Bedeutung, da hier ohnehin hohe Mineralisationsraten auftreten.

In den tieferen Bodenschichten sind Auswirkungen auf Pflanzenwurzeln sowie auf tiefgrabende Tiere denkbar, außerdem können Beeinträchtigungen komplexer symbiontischer Beziehungen wie der Pilz-Wurzel-Symbiose zwischen Mykorrhizapilzen und Pflanzenwurzeln nicht ausgeschlossen werden. In den oberflächennahen Bodenschichten ist die durch das Kabel verursachte Erwärmung im Vergleich zu den natürlichen jahreszeitlichen Temperaturschwankungen gering, was vermuten lässt, dass auch die Auswirkungen auf die Bodenfauna nur ein relativ geringes Ausmaß aufweisen.

Da Wasser eine vergleichsweise hohe Wärmekapazität aufweist, hat die Bodenfeuchte einen entscheidenden Einfluss auf die Erwärmungseigenschaften des Bodens. Feuchte Böden weisen einen geringeren Temperaturgradienten auf und erwärmen sich daher gleichmäßiger und in einem weiteren Umkreis als trockene Böden, was insgesamt zu einer geringeren Erwärmung als im trockenen Boden führt. Zudem besteht bei feuchten Böden (z.B. in den Marschen und Niederungen, wo der Grundwasserflurabstand der Regel gering ist) eine geringere Austrocknungsgefahr, da eine ständige Rückfeuchtung des Bodens gewährleistet ist.

Neben den Bodeneigenschaften hängt die die Bodenerwärmung in der Umgebung von Erdkabeln von der Verlegeanordnung, der Auslastung sowie einer ggf. vorhandenen zusätzlichen Kühlung ab. GFN & GEO (2009) zeigen Szenarien, bei denen von einer Bodentemperatur von 15°C ausgegangen wurde. Bei geringer Auslastung kommt es auch nur zu einer geringen zusätzlichen Erwärmung des Bodens, die in 30 cm (Pflughorizont) Bodentiefe etwa 1 K beträgt. Die Maximaltemperatur in der Nähe der Leiter beträgt dann weniger als 20°C. Bei einer Dauerbelastung der Kabel mit 50% der Nennleistung (dies entspricht hier 190 MVA je System) ergeben sich dagegen vor allem in der Nähe der Kabel deutliche Temperaturanstiege. In unmittelbarer Nähe der Kabel werden rd. 40°C erreicht und in den oberen 30 cm des Bodens beträgt die Erwärmung bis zu 6 K.

Durch die aktive Kühlung, die die AGS-Betriebstechnik ermöglicht, wird eine Erwärmung des Bodens entlang der Kabeltrasse, die insbesondere bei trockenen Böden, aber auch bei Moorböden zu Veränderungen der Bodenfunktionen führen kann, weitgehend vermieden. Die abzuführende Wärme muss (sofern keine Wärmerückgewinnung erfolgt) bei aktiver Kühlung im AGS-Betrieb z.B. im Bereich der Muffenschächte an die Luft abgegeben werden, wodurch hier Auswirkungen auf das Mikroklima entstehen könnten, die sowohl bei passiver Kühlung im AGS-Verfahren als auch mit der herkömmlichen Kabelverlegung in dieser Form nicht zu besorgen wären. Es ist aber davon auszugehen, dass durch geeignete Minimierungsmaßnahmen (z.B. Kühlstationen) nachteilige Umweltauswirkungen ausgeschlossen werden können. Bei aktiver Kühlung können die Bodentemperatur des Erdwärmekörpers beeinflusst und somit über die steuerbare Wärmekapazität des Erdkörpers Wärmepufferkapazitäten geschaffen werden. Dieser Umstand kann sich positiv auf die Belastbarkeitsgrenzen der Kabel und deren Lebensdauer auswirken.

2.3.2.3 Bodenverlust und Einbringen von Fremdkörpern

Bei der Verlegung Erdkabeln werden neben den Kabeln selbst weitere Fremdkörper in den Boden eingebracht, wie z.B. Materialien zur Einbettung des Kabels (Kabelsand, Magerbeton) oder Leerrohre. Die Menge der eingebrachten Materialien ist stark von den jeweiligen Bodenverhältnissen und der Konfiguration des Kabels abhängig. So ist insbesondere bei einer Austrocknungsgefährdung des Bodens in der Regel die Einbettung des Kabels in Magerbeton erforderlich (s. Kap. 2.3.2.2). Soweit während der Baumaßnahmen die Baugrube drainiert werden muss, verbleiben ggf. auch (außer Funktion gesetzte) Drainrohre in der Baugrube.

Die Fremdkörper vermindern die Menge des natürlich gewachsenen Bodens und damit letztlich auch die verfügbaren Bodenfunktionen. Für Pflanzen entsteht ein geringfügiger Verlust an Wurzelraum.

Durch die aktive Kühlung, die die AGS-Betriebstechnik ermöglicht, werden Erwärmung und damit die Austrocknung des Bodens entlang der Kabeltrasse weitgehend vermieden, so dass auch auf eine thermische Bettung verzichtet werden kann. Somit reduziert sich insbesondere bei trockenen Böden auch der Bodenverlust. Durch die aktive Kühlung der AGS-Betriebstechnik entfällt die Notwendigkeit, das Kabel in wärmeabführendes Material einzubetten. Der Wirkfaktor Bodenverlust und Einbringen von Fremdkörpern wird minimiert.

2.3.2.4 Dränagewirkung

Durch die Einbettung des Kabels in Sande kann es durch den Kabelgraben zu einer Drainagewirkung kommen.

Eine Drainagewirkung kann zum einen eintreten, wenn durch den Kabelgraben durchgängige wasserstauende Bodenhorizonte wie z.B. Ortsteinbildungen in Podsolböden durchstoßen werden. In diesem Fall können staunasse Böden nach unten entwässert werden. Zum anderen ist eine Drainagewirkung möglich, wenn der Kabelgraben bei ansonsten bindigen Böden ein Längsgefälle aufweist. In kuppigem Gelände kann es so z.B. zu Vernässungserscheinungen kommen, wenn Wasser durch den Kabelgraben in Richtung von (abflusslosen) Geländesenken gelangt. Verläuft der Kabelgraben durch Böden mit hohem Wasserstand oder mit gespannten Grundwasserleitern und besteht in Gefällerrichtung die Möglichkeit zum Abfluss des Wassers, so kann es zur Entwässerung kommen.

In der Folge kann es zu einer Veränderung von Habitateigenschaften und Nutzungseinschränkungen kommen.

Durch die aktive Kühlung der AGS-Betriebstechnik entfällt die Notwendigkeit, das Kabel in wärmeabführendes Material einzubetten. Drainagewirkungen können weitgehend minimiert werden.

2.3.2.5 Magnetische Feldwirkungen

Aufgrund der bisherigen Forschungsarbeiten ist zwar davon auszugehen, dass elektromagnetische Felder einen Einfluss auf Menschen, Tiere und Pflanzen haben, gesundheitliche Auswirkungen sind aber noch nicht ausreichend belegt.

Magnetische Feldwirkungen stehen insbesondere in Bezug auf das Schutzgut Mensch (menschliche Gesundheit) im Fokus¹. Sie werden international in einer großen Anzahl von Studien kontrovers erörtert. Das Spektrum der diskutierten Auswirkungen auf den Menschen umfasst dabei u.a.:

- Kanzerogene Wirkungen; erhöhte Leukämieraten
- Veränderung der Melatoninproduktion
- Vermehrtes Auftreten von Alzheimer, Parkinson und amyotropher Lateralsklerose
- Störbeeinflussung auf aktive Implantate, z.B. Herzschrittmacher
- Auftreten von Kopfschmerzen, Erschöpfungszuständen und Allergien.

Insbesondere in ihren chronischen Wirkungen sind magnetische Wechselfelder umstritten. Chronische Wirkungen auf den Menschen werden ab einem Wert von 0,2 μT diskutiert, auch wenn die Befunde zahlreicher Studien widersprüchlich sind und epidemiologische Studien bisher keine Beweise für kausale Zusammenhänge liefern konnten. Insgesamt wird hier aber der Magnetfeldbelastung eine höhere Bedeutung zugemessen als der Belastung durch elektrische Felder. Akute Wirkungen auf den Menschen sind bekannt und gut untersucht und bilden die Grundlage für den festgeschriebenen gesetzlichen Immissionsgrenzwert der magnetischen Flussdichte von 100 μT (50 Hz) in Bereichen, in denen sich Menschen nicht nur vorübergehend aufhalten (§3 26. BImSchV).

Darüber hinaus ist bekannt, dass unipolare Herzschrittmacher als die empfindlichsten elektronischen Implantate durch ein Magnetfeld ab 20 μT beeinflusst werden können.

Von vielen Tierarten ist bekannt, dass sie elektrische und / oder magnetische Felder wahrnehmen können. Tiere, die sich am Erdmagnetfeld – einem statischen Magnetfeld mit einer Stärke zwischen 40 und 50 μT – orientieren, werden als magnetotaktisch bezeichnet. Bei Pflanzen gibt es Hinweise, dass sie durch elektromagnetische Felder in ihrem Wachstum beeinflusst werden können.

Der Grenzwert von 100 μT gilt für alle Orte, an denen Menschen sich dauerhaft aufhalten können. Für alle anderen Schutzgüter sind keine entsprechenden Grenzwerte definiert. Vor dem Hintergrund bestehender Wissensunsicherheiten werden die Grenzwerte sowohl in einigen Bundesländern als auch vereinzelt im Ausland mit hohen Vorsorgemargen versehen.

Studien von BRAKELMANN (2004, S. 40), dem BUND (2007, S. 13) und GEO et al. (2009, S. 170) (in: EFZN 2011) zufolge werden die Grenzwerte von 100 μT bei 380-kV-Erdleitungen im oberirdischen Bereich nicht überschritten. Der Studie des BUND (vgl. 2007, S. 13; (in: EFZN 2011)) zufolge wurden bei voller Strombelastung eines 380-kV-Kabels Werte von maximal 30-40 μT erreicht. Im Abstand von 50 m wurden dabei 5 μT unterschritten.

¹ Auf "Elektrische Feldwirkungen" wird nicht näher eingegangen, da elektrische Felder durch die metallischen Kabelmäntel nahezu komplett abgeschirmt werden.

Trotz aller noch ungeklärten Fragen lässt sich somit sicher sagen, dass zur Wirkung und erforderlichen Grenzwerten für elektromagnetische Strahlung erwiesen ist, dass von einem Nahbereich hoher Magnetfelder Magnetfeldemissionen von Erdkabeln der Höchstspannungsebene zu den Seiten hin schnell abfallen.

Die Stärke des Magnetfeldes hängt ganz wesentlich von der Verlegeanordnung der Kabel ab. Für alle Anordnungen gilt, dass das Magnetfeld mit zunehmender Entfernung zur Kabeltrasse rasch abnimmt. Bei Kabeln, die in größerem Abstand nebeneinander verlegt werden (z.B. Einleiterkabel), kann die magnetische Induktion in einem nahen Umkreis in Ausnahmefällen (z.B. bei großem Achsabstand der Kabeladern) den in der 26. BImSchV festgelegten gesetzlichen Grenzwert für Orte des dauerhaften Aufenthaltes von Menschen von 100 μT überschreiten (GFN & GEO 2009).

Durch die AGS-Technik lassen sich die Leiter eines Systems eng Bündeln, was zu einer deutlichen Minimierung der magnetischen Feldstärke führt.

Die aktive Kühlung der AGS-Verfahrenstechnik eröffnet die Möglichkeit, sehr geringe Kabelabstände zu realisieren, um somit bei räumlicher Kabelverlegung bei aktiver Kühlung die weitgehende Kompensation des Magnetfeldes zu erreichen.

Durch die Bündelung der Erdverkabelung mit bereits bestehenden oder auch geplanten Infrastrukturen, wird gewährleistet, dass sich der Wirkungsbereich elektromagnetischer Felder nicht in sensiblen oder schutzwürdigen Bereichen befindet, in denen mit längeren Aufenthaltszeiten von Menschen (aber auch von Tieren) zu rechnen ist.

Damit wird dem Minimierungsgebot der 26. BImSchVVwV (Stand Februar 2016) genüge getan.

2.4 Fazit

Die Wirkfaktoren der AGS-Verfahrenstechnik sind nach ihrer Art vergleichbar mit den Wirkfaktoren der herkömmlichen Erdkabelverlegung. Allerdings unterscheiden sich die Umweltauswirkungen hinsichtlich Umfang und Intensität, da durch die Verlegung in Schmaltrassen und dadurch, dass keine Einbettung der Kabel zur Wärmeabfuhr erforderlich ist, der flächenhafte Eingriff deutlich reduziert wird.

Zusätzlich wird eine weitergehende Bündelung von Infrastrukturen ermöglicht, wodurch eine weitere Reduktion des Flächenverbrauchs erzielt werden kann und darüber hinaus der Eingriff überwiegend in bereits vorbelasteten Bereichen erfolgt, so dass von einer geringeren Intensität der Umweltwirkungen ausgegangen werden kann. Trassen entlang der Bundesstraßen sind in Bezug auf die Schutzgüter Klima und Luft stark vorbelastet. Böden parallel der Straßen sind i.d.R. durch die vorausgegangenen Bauarbeiten bereits verändert. So ist nicht davon auszugehen, dass z.B. naturnahe Moorböden, die einerseits eine hohe naturschutzfachliche Bedeutung besitzen und andererseits in ihrer Struktur irreversibel geschädigt und nicht wiederhergestellt werden können, im Bereich der bestehenden Infrastrukturen großflächig in Anspruch genommen werden müssen.

Nicht zu vernachlässigen ist auch der Aspekt der Kompensation. Gem. §15 Abs. 2 BNatSchG ist der Verursacher eines Eingriffs verpflichtet, unvermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege auszugleichen oder zu ersetzen. Durch die Reduktion des Flächenbedarfs ist davon auszugehen, dass die Ansprüche, die sich durch den Eingriff in Bezug auf solche Kompensationsmaßnahmen ergeben, deutlich geringer ausfallen.

Tab. 3: Vorteile des AGS-Verfahrens gegenüber herkömmlichen Erdkabeln in Bezug auf die Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen

Schutzgut	Bewertung	Erläuterung
Bevölkerung und menschliche Gesundheit	+	<p>Der Umfang der erforderlichen Baumaßnahmen kann beim AGS-Verfahren aufgrund des geringeren Flächenbedarfs und der Möglichkeit Reparatur- und Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich der Muffenschächte durchzuführen, reduziert werden.</p> <p>Hierdurch werden Störungen durch Lärm und Erschütterungen sowie optische Emissionen minimiert.</p> <p>Durch die Möglichkeit Kabel in Schmaltrassen zu verlegen und sie mit anderen Infrastrukturen zu bündeln, werden elektromagnetische Strahlungen minimiert und es wird vermieden, dass sie in Bereichen auftreten, die dauerhaft von Menschen oder Tieren genutzt werden.</p>
Boden	++	<p>Durch die Reduktion der Bauarbeiten, sowie durch den verminderten anlagebedingten Flächenverbrauch, verminderte Bodenverluste und einen geringeren Umfang an Fremdkörpern (eine thermische Bettung des Kabels ist nicht erforderlich) werden Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, des Bodengefüges und der Bodenwasserhaushalte minimiert.</p> <p>Die Erwärmung und Drainage (durch Einbettung in Sande) werden quasi vollständig vermieden.</p> <p>Auch durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen ergibt sich ein gewisses Minimierungspotenzial.</p>
Biologische Vielfalt	++	<p>Störungen durch Lärm, Erschütterungen und optische Emissionen und damit eine Verdrängung von Tieren werden durch die Reduktion der erforderlichen Bauarbeiten minimiert.</p> <p>Durch den geringeren Eingriff in die Bodenfunktionen und die Reduktion der Einbringung von Bettungsmaterialien ergibt sich auch eine geringere Beeinträchtigung von Habitatfunktionen und des Wurzelraumes. Auch Verluste von Pflanzen und Tieren durch die Bauarbeiten werden minimiert.</p> <p>Die Erwärmung und Drainage (durch Einbettung in Sande) und damit verbundene Habitatbeeinträchtigungen werden quasi vollständig vermieden.</p> <p>Die anlagebedingte Freihaltung der Trasse kann unterbleiben. Gehölzstrukturen können sich demzufolge in gewissem Umfang entwickeln, wodurch auch eine mögliche Barrierewirkung minimiert wird. Regelmäßige Rodungsarbeiten und die hiermit einhergehenden Störungen können entfallen.</p> <p>Durch die Art der Verlegung werden die elektromagnetischen Strahlungen weitgehend reduziert, so dass auch keine Beeinträchtigung von Pflanzen und Tieren, z.B. durch eine Störung der Wahrnehmung des Magnetfeldes zu besorgen ist; zumal durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen in diesem Fall eher vorbelastete, weniger sensible Gebiete betroffen sind.</p> <p>Auch durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen ergibt sich ein gewisses Minimierungspotenzial.</p>

Schutzgut	Bewertung	Erläuterung
Fläche	+	Das AGS-Verfahren ermöglicht die Erdkabelverlegung auf Schmaltrassen. Zudem wird es durch die Kabelverlegetechnik ermöglicht, Reparatur- und Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich der Muffenschächte durchzuführen, so dass eine Freihaltung der Trasse nicht erforderlich wird. Hierdurch sowie durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen wird der Flächenverbrauch minimiert.
Wasser	+	Da durch die AGS-Betriebstechnik die Notwendigkeit der Einbettung des Kabels in Sande nicht erforderlich ist, ist eine Drainagewirkung im Bereich der Trasse nicht zu besorgen.
Luft und Klima	-	Signifikante Beeinträchtigungen auf Luft und Klima sind durch die Verlegung von Erdkabeln grundsätzlich nicht zu besorgen.
Sachgüter und kulturelles Erbe	+	Durch die Reduktion der Bauarbeiten wird das Risiko einer Beeinträchtigung von Natur- und Kulturdenkmälern reduziert. Durch den verminderten anlagebedingten Flächenverbrauch, verminderte Bodenverluste und einen geringeren Umfang an Fremdkörpern (Verzicht auf Bettungsmaterialien) werden zudem Nutzungseinschränkungen oder eine Beeinträchtigung von Bodendenkmälern minimiert. Auch durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen ergibt sich ein gewisses Minimierungspotenzial.
Landschaft	+	Durch die Reduktion der Bauarbeiten wird die Störung von Sichtbeziehungen während der Bauarbeiten durch Baumaschinen und Baufahrzeuge minimiert. Durch die Schmaltrassen und die Vermeidung von Reparaturarbeiten im Bereich der Trasse wird die Entstehung breiter, sichtbarer Schneisen weitgehend minimiert. Hierdurch sowie durch die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen wird eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes minimiert.

- = keine Vorteile ersichtlich, + = Vorteile in Bezug auf einen oder zwei Wirkfaktor ersichtlich, ++=Vorteile in Bezug auf mehr als zwei mehrere Wirkfaktoren ersichtlich.

3 Bündelung von Infrastrukturen: Technische und regulative Herausforderungen

Die Möglichkeit der Bündelung mit anderen Infrastrukturen trägt dem Bündelungsgebot Rechnung, das sich auf Vorgaben der Raumordnung und des Naturschutzrechtes zurückführen (vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 6 S. 3 ROG und § 1 Abs. 5 S. 3 BNatSchG) und den Vorbelastungsgrundsatz stützen lässt.

So verpflichtet das ROG zu einem sparsamen und schonenden Umgang mit Naturgütern, wobei die erstmalige Nutzung von Freiflächen zu vermindern ist. Nach dem BNatSchG sind großflächige, weitgehend unzerschnittene Landschaftsräume vor weiterer Zerschneidung zu bewahren und Verkehrswege, Energieleitungen und ähnliche Vorhaben sollen landschaftsgerecht geführt, gestaltet und so gebündelt werden, dass die Zerschneidung und die Inanspruchnahme der Landschaft sowie Beeinträchtigungen des Naturhaushalts vermieden oder so gering wie möglich gehalten werden. „Der von der Rechtsprechung entwickelte Vorbelastungsgrundsatz trägt seinerseits dem Umstand Rechnung, dass Vorbelastungen in ihrem Einwirkungsbereich liegende Grundstücke prägen und im Grundsatz ihre Schutzwürdigkeit mindern.“ (BUNDESNETZAGENTUR 2016a, S. 21).

Die Relevanz eines sparsamen Flächenverbrauchs, wie er z.B. auch durch die Bündelung von Infrastrukturvorhaben erreicht werden kann, wird auch darin ersichtlich, dass die UVP-Änderungsrichtlinie die Fläche explizit in ihren Schutzgutkatalog aufnimmt. Auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) setzt sich in seinem aktuellen Gutachten ganz ausführlich noch einmal mit dem Thema Flächenverbrauch auseinander und fordert für dieses Umweltproblem einen Platz weit oben auf der politischen Agenda, sollten die mittelfristigen Zielvorgaben der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie erreicht werden (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 2016).

Die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) hat in einer Stellungnahme zum Ausbau der Netze die Bedeutung des Bündelungsgebotes auf bestehenden Trassen herausgestellt, um bisher noch unbeeinträchtigte Räume ungestört zu erhalten, sie verweist aber auch auf die Notwendigkeit der Prüfung im Einzelfall, ob die angestrebte Bündelung von Leitungstrassen

- zu vermeidbaren Beeinträchtigungen anderer Belange führt (z. B. Siedlungsannäherung),
- zu einer Überbelastung des betroffenen Raumes führt oder
- den Schutz kritischer Infrastrukturen erschwert (Anfälligkeit gegenüber Unglücksfällen) (MINISTERKONFERENZ FÜR RAUMORDNUNG 2013; BUNDESNETZAGENTUR 2015).

Neben der Verlegung neuer Netze auf bereits vorhandenen Stromtrassen wird auch die Möglichkeit diskutiert, Stromnetze auf oder entlang anderer linienförmigen Netzinfrastrukturen zu verlegen. Die Potenziale für eine solche Lösung sind auf den ersten Blick beträchtlich. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Länge der vorhandenen Infrastrukturnetze.

Tab. 4: Länge Infrastrukturnetze

Netz	Länge
Bahnstromtrassen	7.800 km + Schienentrassen 34.000 km: Nutzung bestehender Strom- und Schienentrassen.
Bundesstraßen	39.400 km: Nutzung von Standstreifen
Autobahnen	12.700 km: Nutzung von Standstreifen sowie Erweiterungsflächen; betriebliche Einrichtungen verfügbar (Parkplätze etc.)
Pipelinetrassen flächendeckende Öl + Erdgasleitungen:	Rohölleitungen: 2.400 km Nutzung der Randstreifen (Arbeitsstreifen) von Trassen.
Flüsse und Kanäle	7.360 km Binnenwasserstraßen: Einbringen in Flussbett oder Uferbereich. Ökologische, bau- und wartungstechnische Restriktionen.
Höchstspannungsnetz	35.700 km: Nutzung der Trassen und Schutzstreifen

In den letzten Jahren ist in mehreren Studien der Frage nachgegangen worden, ob und in welchem Umfang sich diese Trassen für die Verlegung von Stromtrassen eignen:

- Autobahnen: (INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIESYSTEME (IZES GGMBH) 2012)
- Binnenschiffahrtstraßen (WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (WSV) 2012)
- Eisenbahnen (LEIBNITZ UNIVERSITÄT HANNOVER - INSTITUT FÜR ENERGIEVERSORGUNG UND HOCHSPANNUNGSTECHNIK & AL. 2012)

Die folgende Tabelle fasst die zentralen Ergebnisse der verschiedenen Studien zusammen:

Tab. 5: Vor- und Nachteile einer Bündelung von Infrastrukturen

	Vorteile	Nachteile
Autobahn/Eisenbahn	Zugänglichkeit, Realisierbarkeit, wenige Ansprechpartner, viele Strecken, Wartungszugang, Sicherheit, siedlungsfren, erweiterbar	EMV, viele Kreuzungen; andere Bauwerke
Eisenbahn	Zugänglichkeit, Realisierbarkeit, wenige Ansprechpartner, viele Strecken, Wartungszugang, Sicherheit, siedlungsfren, Verbindung	Verfügbare Trassenbreite, Systembeeinflussung der Bahnsicherheitstechnik (EMV)
Flüsse	Vorhandene Verlegetechnik, gute Kühlung, lange Strecken	Schiffahrt, Eingriff in die Natur, schwer zugänglich, EMV. Auswirkungen im Fehlerfall; Schleusen, Sperrwerke, Umweltauswirkungen

Kanäle	Erfahrungen mit Verlegetechnik, gute Kühlung, lange Strecken	Künstliche Bauwerke mit spez. Bodenbeschaffenheit, Schleusen, Sperrwerke, keine Neubaustrecken. Umweltschutzaspekte
Pipelines	Lange Strecken, verzweigtes Netz, vorhandene Trassen mit Schutzstreifen, Zugänglichkeit, Sicherheit (wöchentlich befliegen oder begangen). Geeignete Trasse für unterirdische Verlegung	EMV, Dienstbarkeit muss mit privaten Eigentümern ausgehandelt werden, enge Platzverhältnisse
Nutzung Freileitungstrassen; Landes- oder Staatsgrenzen	Verlegung im Schutzstreifenbereich, lange und viele Strecken, Eigentumsrecht beim Bund	Undefinierte Bodenverhältnisse, viele Kreuzungen, große Höhenunterschiede

Quelle: (POKOJSKI & WESTERMANN 2015)

Zusammenfassend kommen die Studien zu einer eher ernüchternden Einschätzung der Bündelungspotenziale. Dabei spielen nicht nur technische und bauliche Restriktionen eine Rolle, auch das Zusammenspiel der jeweiligen sektorspezifischen Planungs- und Genehmigungsgrundlagen stellt sich als eine wichtige Herausforderung dar.

Um diesen Restriktionen zu begegnen hat der Gesetzgeber mit dem Gesetz zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsausbaus (31.12.2015) Rahmenbedingungen geschaffen, um den Netzausbau beschleunigen und nachhaltig gestalten zu können.

Viele der benannten Restriktionen gelten zunächst unabhängig von der jeweiligen Netztechnologie. Aufgrund der speziellen Verlegetechnik und der möglichen schmaleren Trassenführung ergeben sich jedoch bei dem AGS-Verfahren deutlich mehr Möglichkeiten, zumindest auf Teilstrecken auch vorhandene Infrastrukturtrassen zu nutzen. Dies gilt vor allem dort, wo entlang von Infrastrukturtrassen nur ein begrenzter Raum zur Verfügung steht und damit eine herkömmliche Erdkabellegung noch nicht in Betracht gezogen wird. Ein grundsätzliches Argument gegen die Bündelung von Energienetzen mit anderen Infrastruktursystemen ist auch die potenzielle Gefahr einer längerfristigen Betriebsunterbrechung etwa von Verkehrsinfrastrukturen im Fall einer notwendigen Reparatur der Stromkabel. Durch die spezifische AGS-Verlegetechnik kann die Dauer derartiger Unterbrechungen erheblich reduziert oder gänzlich vermieden werden.

4 Netzinnovationen und potenzielle Auswirkungen auf die Akzeptanz

Die Verzögerungen beim Netzausbau sind zu einem nicht unwesentlichen Teil auf lange Planungszeiträume und langwierige Genehmigungsverfahren zurückzuführen; hierbei spielen auch die in der Zwischenzeit ausgeweiteten Beteiligungsprozesse eine Rolle.

In dem Vorrang für Erdverkabelung wird eine grundsätzliche Möglichkeit gesehen, die Akzeptanz für Netzausbaumaßnahmen zu erhöhen und auch die Planungsverfahren zu beschleunigen (BUNDESNETZAGENTUR 2016). Dies ist sicherlich dort der Fall, wo sich der lokale Widerstand speziell gegen Freileitungen richtet und dies zu entsprechenden Verzögerungen führt. Bislang gibt es in Deutschland erst wenig Erdkabelprojekte, die dabei gewonnenen Erfahrungen eigenen sich auch aufgrund des Pilotprojektcharakters kaum für eine Verallgemeinerung.

Allgemein wird jedoch von den meisten Experten darauf hingewiesen, dass die Vorteile der Erdkabeltechnik sich aus den jeweiligen landschaftlichen Gegebenheiten und den jeweils auftretenden Wirkfaktoren ergeben und Erdkabeln nicht in jedem Fall auch eine sinnvolle Alternative zum Freileitungsbau darstellen. Verkabelung schafft andere Betroffenheiten und es geraten mit Boden und Wasser andere Schutzgüter in den Fokus.

Eine fehlende Akzeptanz von Infrastrukturvorhaben kann unterschiedlich weitreichende Konsequenzen haben:

- zeitliche Verzögerungen bei der Realisierung von Projekten, die mit Zusatzkosten verbunden sind,
- eine nicht optimale neue Standortwahl oder
- die vollständige Aufgabe eines möglicherweise volkswirtschaftlich sinnvollen Projekts.

Die Ursachen für eine fehlende Akzeptanz und lokale Widerstände sind dabei vielschichtig und wesentlich mit bestimmt durch die regionalspezifischen Bedingungen und die Merkmale des konkreten Vorhabens (BECKER ET.AL. 2014):

Verteilungskonflikte

Das NIMBY (Not In My Backyard) Phänomen beschreibt eine Kategorie von Vorhaben, denen die Bürgerinnen und Bürger nicht grundsätzlich ablehnend gegenüberstehen, die sie aber nicht in ihrem „Hinterhof“ haben wollen. NIMBY-Projekte sind somit Vorhaben, bei denen die Bürgerinnen und Bürger von einer ungleichmäßigen Verteilung von Kosten und Nutzen zu ihren Lasten ausgehen. Diese Verteilungskonflikte können auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen stattfinden, etwa zwischen Energieproduktionsstandorten und Verbrauchsschwerpunkten, aber auch im kleinräumigen Kontext, wenn bestimmte Flächeneigentümer auch finanziell nicht unerheblich von der Energiewende profitieren, angrenzende Bewohner oder Flächeneigentümer jedoch die Lasten zu tragen haben.

Verfahrenskonflikte

Hier geht es darum, dass Bürger unzufrieden sind mit der Art und Weise, wie Planungs- und Genehmigungsverfahren abgewickelt werden (FLASBARTH ET AL. 2012). Die Kritik richtet sich

dabei etwa gegen Umfang und Reichweite der Beteiligung, den Zeitpunkt, zu dem Bürger in ein Genehmigungsverfahren eingebunden werden oder auch den beschränkten Zugang zu relevanten Informationen.

Standort- und Landnutzungskonflikte

Eingriffe in Natur und Landschaft, Zerstörungen des Landschaftsbildes oder Gesundheitsgefährdungen sind wesentliche Effekte, die vor allem in den ländlichen Räumen zu der rückläufigen Akzeptanz beitragen. Der Umbau des Energiesystems ist in besonderer Weise flächenintensiv und hat damit zum Teil massive Implikationen für den Markt von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Steigende Pacht- und Kaufpreise für Agrarflächen verschlechtern damit gleichzeitig die Perspektiven für die konventionelle Landwirtschaft, aber auch für andere Landnutzungen wie etwa für den Naturschutz.

Identitätskonflikte

Sie können dort entstehen, wo unterschiedliche Visionen einer zukünftigen Regionalentwicklung aufeinandertreffen (Bsp. „Energierregion“ versus „Tourismusregion“).

Technologiekonflikte

Darunter fällt der Widerstand gegen spezielle Technologien und Verfahrensweisen: Die Proteste der regionalen Bevölkerung gegenüber unkonventionelle Formen der Erdgasförderung (Fracking) sind hierfür ein Beispiel.

Eine Bewertung der AGS-Verfahrenstechnik unter den Gesichtspunkten der Akzeptanzsteigerung und der Verfahrensbeschleunigung wird im Folgenden im Vergleich sowohl zur Freileitungsbau- als auch zur herkömmlichen Erdkabeltechnologie vorgenommen.

Tab. 6: Akzeptanz unterschiedlicher Netztechnologien

Konflikte	Vorteile gegenüber Freileitung	Vorteile gegenüber herkömmlicher Erdkabelvariante
Verteilungskonflikte	+	0
Verfahrenskonflikte	+	0
Standort- und Landnutzungskonflikte	+	+
Identitätskonflikte	+	+
Technologiekonflikte	+	+

Grundsätzlich lassen sich für die AGS-Verlegetechnik und für das AGS-Betriebskonzept mit aktiver Kühlung unter Akzeptanzgesichtspunkten die gleichen Vorteile gegenüber der Freileitungsvariante vorbringen, wie sie auch für die herkömmliche Erdkabelverlegetechnik gelten.

Im Vergleich der beiden Erdkabel-Optionen weist die AGS Technik potenzielle Vorzüge auf:

Dies gilt in erster Linie mit Blick auf Standort- und Landnutzungskonflikte: Die schmalere und gradlinigere Trassenführung und auch die Möglichkeit einer Bündelung mit anderen linienförmigen Infrastrukturen reduziert die Auswirkungen auf Natur und Landschaft und vor allem den Druck auf die Landnutzung. Hier ist mit einer deutlichen Abnahme auch der lokalen Widerstände und der Bedenken aus naturschutzfachlicher Sicht zu rechnen.

Spezifische Widerstände gegen diese Technologie sind nicht zu erwarten. Auch hier können sich Vorteile gegenüber der herkömmlichen Erdkabeltechnologie aus den Potenzialen der Infrastrukturbündelung ergeben. Akzeptanzsteigernd könnten sich aber auch neue Anwendungspotenziale auswirken, etwa wenn die über die aktive Kühlung der AGS-Netzabschnitte anfallende Wärme auch für private oder gewerbliche Nutzungen entlang der Verkehrsinfrastrukturen verwendet wird (Bsp. Autoraststätten). Langfristig könnten sich akzeptanzsteigernde Effekte zudem ergeben, wenn Netze entlang von Autobahntrassen auch neue Optionen im Bereich des massiven Ausbaus der Elektromobilität ergeben. Diese innovativen Ansätze, die mit dem AGS-Betriebskonzept verbunden sind, könnten zudem auch identitätsstiftend und damit akzeptanzfördernd wirken.

5 Zusammenfassung

Die AGS-Verfahrenstechnik verbindet die AGS-Kabelverlegetechnik (wobei das Verlegen von Einzelkabeln von mindestens 2 km Länge realisiert werden kann) mit der AGS-Betriebstechnik und ermöglicht damit die Stromübertragung in unterirdischen Schmaltrassen mit Trassenbreiten von etwa 2 m (Realisierung eng gebündelter Kabelanordnung, die eine weitgehende Kompensation des Magnetfeldes ermöglicht). Das AGS-Betriebskonzept eröffnet die Möglichkeit der Realisierung der Kabelverlegung innerhalb bestehender Fernverkehrsstrassen (Bahntrassen, Autobahnen, aber auch Wasserstraßen).

Auswirkungen auf Natur- und Landschaft werden hierdurch sowohl in Bezug auf bau- als auch auf anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren minimiert. Dies betrifft insbesondere den Flächenverbrauch und Bodenverluste sowie die Erwärmung angrenzender Bodenschichten.

Eine Möglichkeit der Reduzierung von Umwelteingriffen durch den Energieleitungsbau und zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren wird in der Bündelung mit anderen linienförmigen Infrastrukturen gesehen. Ausgewertete Studien verweisen zwar auf die sich dabei ergebenden technisch-planerischen Herausforderungen, die jedoch mit der neuen, verbesserten Rahmengesetzgebung gelöst werden sollen. Mit der AGS-Verfahrenstechnik werden die gesetzlichen und methodischen Anforderungen dieser Rahmengesetzgebung weitestgehend erfüllt.

Auch unter dem Gesichtspunkt der Akzeptanz ist vor allem wegen der geringeren Inanspruchnahme von Natur und Landschaft und der möglichen Verlegung in bereits vorbelasteten Räumen mit einer deutlichen Akzeptanzerhöhung im Vergleich zur herkömmlichen Erdkabelverlegetechnik zu rechnen.

6 Literatur

- 50HERTZ TRANSMISSION GMBH ET.AL. (2016). Netzentwicklungsplan Strom 2025. Offshore-Netzentwicklungsplan 2025. Version 2015. 2. Entwurf. Zahlen - Daten - Fakten. Berlin.
- BECKER, S., ET AL. (2014). Die Analyse lokaler energiepolitischer Konflikte und das Entstehen neuer Organisationsformen. Theoretische Zugänge und aktuelle Herausforderungen. Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung/Local Governments for Sustainability/ZukunftsAgentur Brandenburg. Erkner/Freiburg/Potsdam. EnerLOG Working Paper.
- BRAKELMANN, H., D. STEIN & V. WASCHK (2013): Hoch- und Höchstspannungskabel, Effiziente Kabelanordnung im Doppelmantelrohr. ew 14: 62-68.
- BUNDENETZAGENTUR (2015): Methodenpapier. Die Raumverträglichkeitsstudie in der Bundesfachplanung. Bonn, November.
- BUNDESNETZAGENTUR (2016A): Bundesfachplanung für Gleichstrom-Vorhaben mit gesetzlichem Erdkabelvorrang - Positionspapier der Bundesnetzagentur für Anträge nach § 6 NABEG. 28 S.
- BUNDESNETZAGENTUR (2016B). Jahresbericht 2015 Wettbewerb fördern. Netze ausbauen. Verbraucherinnen und Verbraucher schützen. Bonn.
- BUNDESREGIERUNG (2016). Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2016). Berlin
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) (2014). Technologieübersicht. Das deutsche Höchstspannungsnetz: Technologien und Rahmenbedingungen. Berlin.
- EFZN (ENERGIE-FORSCHUNGSZENTRUM NIEDERSACHSEN) (2011): ÖKOLOGISCHE Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen; (03MAP189 Laufzeit: 01.10.2009-31.12.2011) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Band 1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse.
- FLASBARTH, J., ET AL. (2012). Öffentlichkeitsbeteiligung in Planungs- und Genehmigungsverfahren neu denken Dessau- Roßlau.
- GFN & GEO (Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH & Gesellschaft für Energie und Oekologie mbH) (2009): Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen. FuE-Vorhaben FKZ 806 82 070 im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN). 291 S.
- HAMANN, R. & W. SPIEGEL (2015): Aktiv gekühlte Stromübertragung in Schmaltrassen. np 54 (1-2): S. 48-54.
- INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIESYSTEME (IZES GGMBH) (2012): Elektrische Straße. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),. Saarbrücken.
- KEMFERT, C., ET AL. (2016). Stromnetze und Speichertechnologien für die Energiewende – Eine Analyse mit Bezug zur Diskussion des EEG 2016. Politikberatung kompakt 112. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Berlin.

- KOCH, M., . , ET AL. (2015). "Modellgestützte Bewertung von Netzausbau im europäischen Netzverbund und Flexibilitätsoptionen im deutschen Stromsystem im Zeitraum 2020–2050." Z Energiewirtsch 39: 1-17.
- LEIBNITZ UNIVERSITÄT HANNOVER - INSTITUT FÜR ENERGIEVERSORGUNG UND HOCHSPANNUNGSTECHNIK & E. AL. (2012): Machbarkeitsstudie zur Verknüpfung von Bahn- und Energieleitungsinfrastrukturen. Hannover - Dresden - Clausthal-Zellerfeld, Juni.
- MIETH, R., ET AL. (2015). "Stromnetze und Klimaschutz: Neue Prämissen für die Netzplanung." DIW Wochenbericht(6): 91-96.
- MINISTERKONFERENZ FÜR RAUMORDNUNG (2013): Verstärkte Nutzung regenerativer Energien und Ausbau der Netze (Positionspapier zu praxisorientierten Prüfmaßstäben für die Raumverträglichkeitsprüfung nach § 5 NABEG). Umlaufbeschluss vom 06.02.2013,.
- POKOJSKI, M. & D. WESTERMANN (2015): Stromübertragung für den Klimaschutz Potentiale und Perspektiven einer Kombination von Infrastrukturen. STUDIE DER ENERGIETECHNISCHEN GESELLSCHAFT IM VDE (ETG).
- RADTKE, O., ET AL. (2015). "Kostentreiber und ihre Wirkung auf die Entwicklung der Netzentgelte." Energiewirtschaftliche Tagesfragen 65(1/2): 115-117.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2016): Umweltgutachten 2016: Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Berlin.
- SCHABER, K. AND F. BIEBERBACH (2015). "Redispatch und dezentrale Erzeugung: Alternativen zum Netzausbau?" Energiewirtschaftliche Tagesfragen 65(7): 18-23.
- WAGENHÄUSER, H. (2015). Stromnetze - ein wesentlicher Baustein der Energiewende. V. A. Technikgeschichte. München.
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (WSV) (2012): Machbarkeitsuntersuchung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) zur Längsverlegung von Hochspannungsleitungen an bzw. in Bundeswasserstraßen. Münster/Aurich.
- WENDT, V. (2015). Teilverkabelung als Lösungsansatz für den Netzausbau in Deutschland. Präsentation für den Technikdialog der Bundesnetzagentur. Europacabel. Kassel