

19 AGS-Erdkabelsysteme – mehr Planungs- sicherheit durch marktreife Technik zur Förderung der Konsensfähigkeit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlich- keit zukunftsfähiger Stromnetze

Dr. Rolf Hamann · Werner Spiegel

Ein röhrenbasiertes Kabelverlegeverfahren, kombiniert mit innovativer AGS-Kabelverlegetechnik und optionaler AGS-Betriebstechnik (AGS+) zur aktiven Kühlung von Stromkabeln, die auch ultraschmale Stromtrassen ermöglicht, könnten im Lichte des Netzausbaubeschleunigungsgesetzes (NABEG) nicht nur einen Beschleunigungsbeitrag beim Übertragungsnetzausbau leisten, sondern auch die Konsensfähigkeit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit zukunftsfähiger Stromnetze fördern. Beim Einsatz der AGS-Verfahrenstechnik geht es nicht nur darum, den bestehenden gesetzlichen und methodischen Anforderungen Rechnung zu tragen. Vielmehr sollen mit innovativer Technologie der vorrangigen Erdverkabelung bei der Trassenfindung dem Planer mehr Freiheitsgrade zur Verfügung gestellt werden, um auch denen mehr Planungssicherheit und mehr Planungsflexibilität an die Hand zu geben, die für den Ausbau der HGÜ- und HDÜ-Übertragungsnetze verantwortlich sind. Unabhängig vom Einsatz der AGS-Technik drängt sich die Forderung auf, ein röhrenbasiertes Regelverfahren für die Verlegung von HV-Erdkabeln bzw. HV-Landkabeln gesetzlich zu verankern, um vollumfänglich die damit verbundenen Vorteile der Anpassungsfähigkeit durch Reversibilität nachhaltig und bedarfsgerecht auch für die kommenden Jahrzehnte nutzen zu können.

19.1 Einleitung und Bewertung der Ausgangslage, Stand 2018

Das Großprojekt „Energiewende“ hat in Deutschland zu einer umfänglichen Veränderung der Energieerzeugungsstruktur geführt. Der stetig wachsende Anteil regenerativer Energien ist auf „Zielerreichungskurs“, die Diskussion um das Sorgenkind Netzausbau spitzt sich dagegen zu. Der Wunsch des Gesetzgebers, die Früchte aus einem vorgesehenen vereinfachten Bundesfachplanungsverfahren (gemäß § 11 NABEG [19.1]) ernten zu können, geht nicht auf. Im Gegenteil: Der Netzausbau ist insbesondere vor dem Hintergrund des erst seit 2015 bestehenden Erdkabelvorrangs zeitkritischer denn je, insbesondere für die herausragenden Vorhaben 1, 3, 4 und 5 [19.2], für die die Methodik und die Prozesse zur Erlangung rechtsverbindlicher Trassenkorridorverläufe durch das NABEG geregelt sind. Zeitkritischer nicht zuletzt deshalb, weil die Prüfung der erhobenen Einwendungen, die aus den Antragskonferenzen gemäß § 9 NABEG „Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung“ hervorgegangen sind, sich zu einem gewaltigen Arbeitspaket sowohl für die Bundesnetzagentur (BNetzA) als auch für die Vorhabenträger entwickelt hat. Es ist nachvollziehbar, dass der Erdkabelvorrang nicht nur die weit fortgeschrittenen Planungen der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) quasi zunichtegemacht hat, die doch vorsahen, auch die großen HGÜ-Vorhaben vorrangig im Freileitungsbau mit weitgehend bewährter und leistungsfähiger Anlagen- und Montageverfahrenstechnik auszuführen. Der größere Beurteilungs- und Bewertungsaufwand der Auswirkungen einer noch verhältnismäßig jungen HV-Erdkabeltechnik auf Fauna, Flora und Habitat sowie auf das Natur- und Wirtschaftsgut Boden musste zwangsläufig und bei methodisch unveränderter Rechtsgrundlage für die Planungs- und Genehmigungsprozesse zu Verzögerungen führen. Fakt ist: Die Planungssicherheit ist für alle Stakeholder, die in den Netzausbau involviert sind, geschmälert; nach Festschreibung des Erdkabelvorrangs wurde darüber hinaus die Verunsicherung größer, als klar wurde, dass zukünftig länderübergreifende Vorhaben, wie der SüdLink, in Deutschland mit Freileitungstechnik nur schwer durchzusetzen sein würden.

19.2 Das TÜV-zertifizierte AGS-Kabelverlegeverfahren

Auf der Grundlage der Vorhersehbarkeit mancher Entwicklungen im Netzausbau in Deutschland, die wir heute beklagen, ist die heutige AGS-Verfahrenstechnik vorausschauend entstanden, die schon 2012 mit ganzheitlichem Ansatz und dem Anspruch angetreten ist, nicht nur Konzepte für den Erdkabelmarkt, sondern auch technische Lösungen für den kritischen Onshore-Netzausbau in Deutschland zu entwickeln und diese bis zur Marktreife zu führen. Mit der AGS-Verfahrenstechnik, dem auftriebsgestützten Slipping (Bild 19.1), einem inzwischen marktreifen und am Versuchsstandort Stade erprobten, röhrenbasierten Kabelverlegeverfahren [19.3] (Bild 19.2), kann mehr Planungssicherheit durch Planungsflexibilität zurückgewonnen werden; denn das röhrenbasierte AGS-Verlegeverfahren ermöglicht

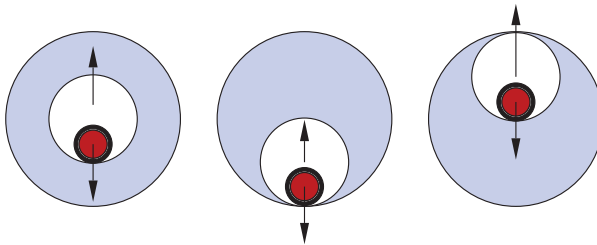


Bild 19.1 AGS-Kabelverlegetechnik unter Nutzung des archimedischen Prinzips



Bild 19.2 AGS-Technik zur reversiblen Verlegung von HV-Kabeln

- die Verlegung der HV-Kabel, ohne Zugkraftbeanspruchung des Kabels während der Montage, was eine Vorschädigung des Kabels verhindert,
- eine Minimierung der Anzahl von Muffenverbindungen, Muffengruben und Betriebspunkten durch die reibungsarme Verlegung auch ultralanger, ultraschwerer HV-Kabel, ohne zusätzliches abschnittsweises „Pushing“, die neben Einsparungen eine Reduzierung des Ausfallrisikos durch störanfällige Muffen bewirkt,
- die Kabelaustauschmöglichkeit (Reversibilität) des im Kabeltransportrohr verbleibenden Kabels, die gleichermaßen mit AGS-Technik, jedoch im „reverse modus“, die spätere Anpassung an neue Kabeltechnologien und -generationen und damit eine Leistungsanpassung ohne erneute und teure Erdbaumaßnahmen ermöglicht,
- dass mit der AGS-Kabelverlegetechnik Bau und Rückbau teurer Zuwegungen für den Schwerlast-Kabeltransport zum Verlegeort (Kabelgraben) überflüssig und schädliche Bodenverdichtungen vermieden werden und
- in der Doppelnutzung des Leerrohr-Transportrohr-Systems nach der AGS-Montage die spätere Wasserbettung sowie die passive Wasserkühlung der Kabel.

Die röhrenbasierte AGS-Verlegetechnik und die Wasserbettung der Kabel

- unterstützen (betriebstechnisch) alle Maßnahmen zur Einhaltung thermischer Belastbarkeitsgrenzen bzw. machen diese möglicherweise überflüssig, insbesondere bei zeitweise hochbelasteten HV-Kabelanlagen,
- ermöglichen im späteren Anlagenbetrieb durch die Wasserbettung (passive Kühlung) der Kabel eine thermische Vergleichmäßigung der unmittelbaren Kabelumgebung im gesamten Trassenverlauf und
- zielen auf eine möglicherweise erreichbare längere Lebensdauer der Kabel sowie auf eine Verminderung thermisch bedingter Schadensfälle.

19.3 Die Option der aktiv gekühlten Stromübertragung und der berechnete Anspruch der Netzbetreiber

Der Wunsch nach deutlich schmaleren Trassen ist nicht neu, jedoch aktueller denn je, das haben die Antragskonferenzen zum SüdLink und SüdOstLink gezeigt: Je mehr dem Erdkabel ein Vorrang eingeräumt wird, umso weniger Bedarf bleibt für Leiterseile bzw. Freileitungstechnik. Mit herkömmlicher Verlegung der Kabel im Erdreich sind jedoch auch mit Einsatz thermisch stabilisierter Kabelbettung

ohne aktive Kühlung keine Schmaltrassen nach unserem Verständnis realisierbar und – das ist der Hauptkritikpunkt am bisherigen Planungsstand –, dass im Regelverfahren teilweise immer noch die direkte Verlegung der Kabel im Erdreich (nicht röhrenbasiert) vorgesehen ist. Ein Lösungsweg wird durch AGS+ aufgezeigt, der das Ziel hat, die Langzeitstressbeständigkeit der Kabel selbst und damit die Sicherheit der Stromübertragung zukunftsfähiger Stromnetze zu verbessern.

Auf der Grundlage der marktreifen AGS-Kabelverlegetechnik, die wirtschaftliche Vorteile und mehr Langzeitsicherheit für HV-Kabelanlagen verspricht, soll mit der aktiv gekühlten Stromübertragung (AGS+ [19.4]) eine weitere Innovation an den Start gebracht werden, die nicht nur dem Wunsch nach Schmaltrassen, sondern auch den Ansprüchen der Netzbetreiber an einer sicheren Stromübertragung gerecht wird.

Die Option AGS+ ist eine optionale (nach Verlegung auch jederzeit nachrüstbare) Betriebstechnik, die vorsieht, das ohnehin im Leerrohr befindliche Wasser (Wasserbettung) kontrolliert mittels Umwälzpumpen, bei Bedarf oder permanent, kreislaufgeführt einem Wärmetauschprozess zuzuführen. Dies ist zunächst ein kleiner Schritt, der technisch gesehen mit herkömmlichen Heizwasserumwälzpumpen – den „aktiven Komponenten“ – realisiert werden kann; deshalb aktiv gekühlte Stromübertragung oder aktiv gekühlte Stromkabel (forced cooled cables [19.5] [19.6]). Die Umwälzpumpen, mehrfach redundant ausgeführt, werden dazu vorzugsweise in Revisionsschächten installiert, von denen aus die Verbindungsleitungen zu den hydraulischen AGS-Endverschlüssen bzw. AGS-Anschlussstellen hergestellt werden.

Bedeutender als die Auslegung und der Einsatz von Umwälzpumpen gemäß dem Stand der Technik sind allerdings die Auswirkungen auf den Boden und auf die Stromtrasse selbst, denn mit der aktiven Kühlung der Stromkabel ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, Trassenquerschnitte wesentlich kompakter zu gestalten. Das Institut für Thermodynamik der Universität Hannover (IFT) wurde in diesem Zusammenhang beauftragt, die thermodynamischen Grundlagen und Berechnungen für den Betrieb von AGS-Erdkabelsystemen zu erarbeiten [19.7]. Für Fallunterscheidungen wurde am IFT ein thermodynamisches Berechnungsmodell entwickelt, welches in der Lage ist, unterschiedliche Rohrsystemanordnungen, wie in Bild 19.3 bis Bild 19.8 dargestellt, zu verarbeiten.

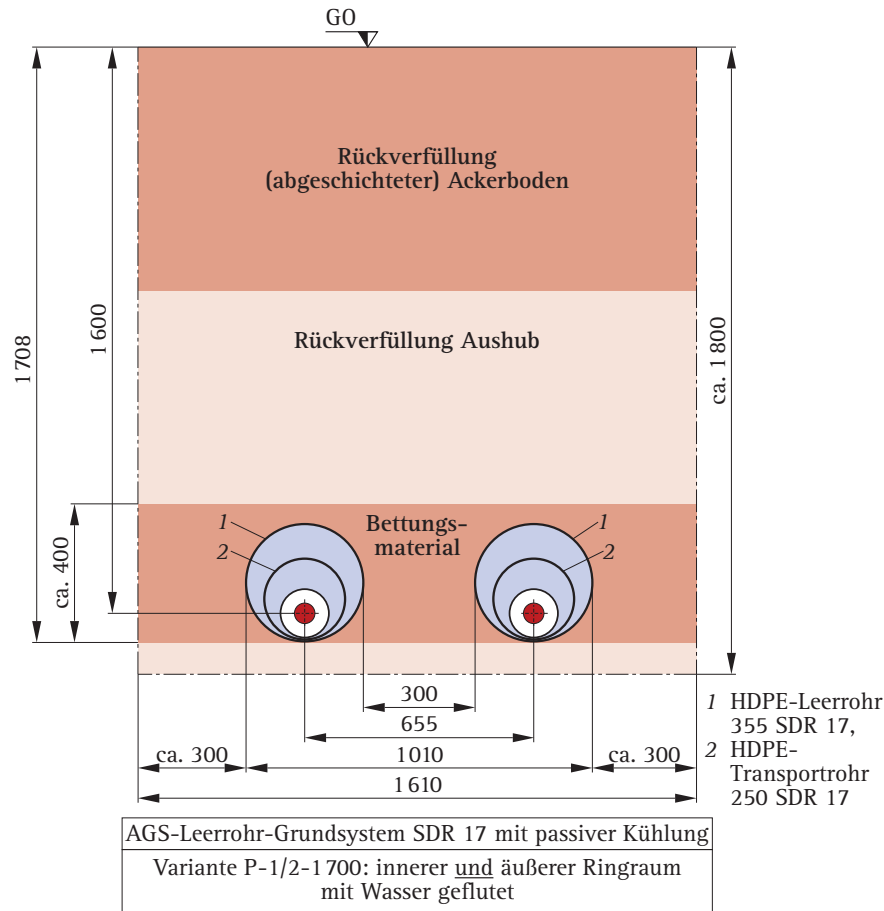


Bild 19.3 AGS-Leerrohr-Kabeltransportrohr-Grundsystem SDR 17 mit passiver und aktiver Kühlung

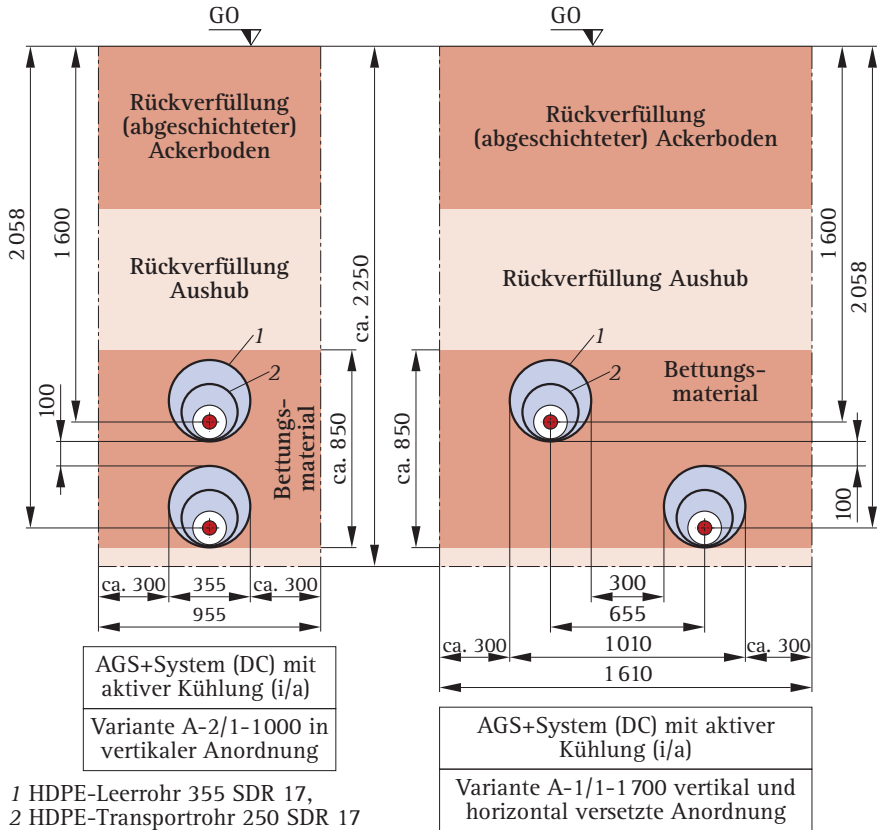


Bild 19.4 AGS Leerrohr-Kabeltransportrohr-System DC 2/1 mit aktiver Kühlung

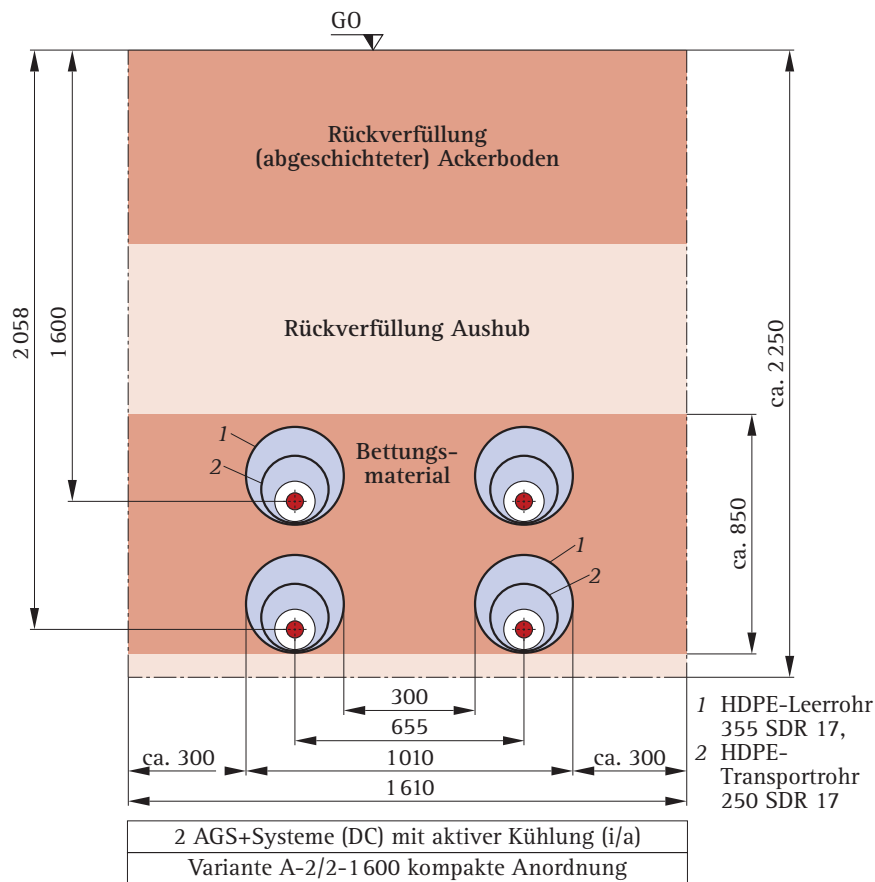
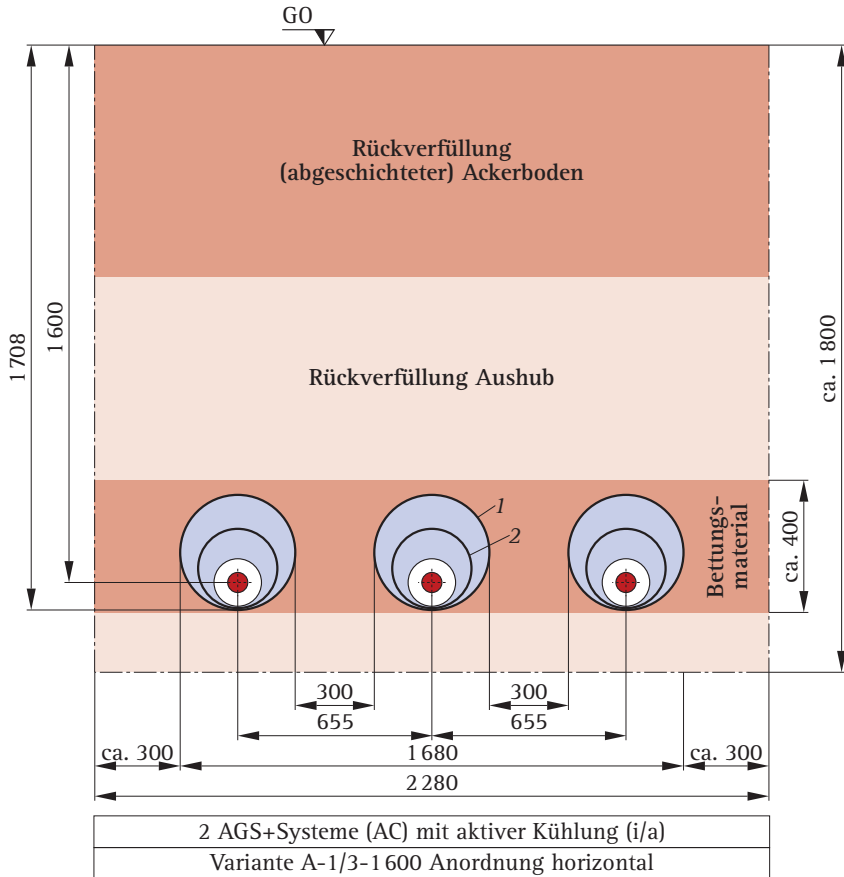


Bild 19.5 AGS Leerrohr-Kabeltransportrohr-System DC 2/2 mit aktiver Kühlung



1 HDPE-Leerrohr 355 SDR 17,
2 HDPE-Transportrohr 250 SDR 17

Bild 19.6 AGS Leerrohr-Kabeltransportrohr-System DC 1/3 mit aktiver Kühlung

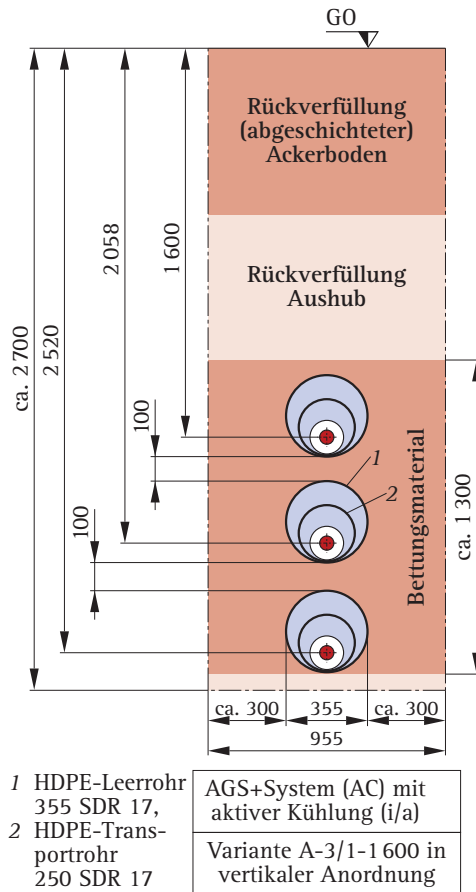


Bild 19.7 AGS Leerrohr-Kabeltransportrohr-System DC 3/1 mit aktiver Kühlung

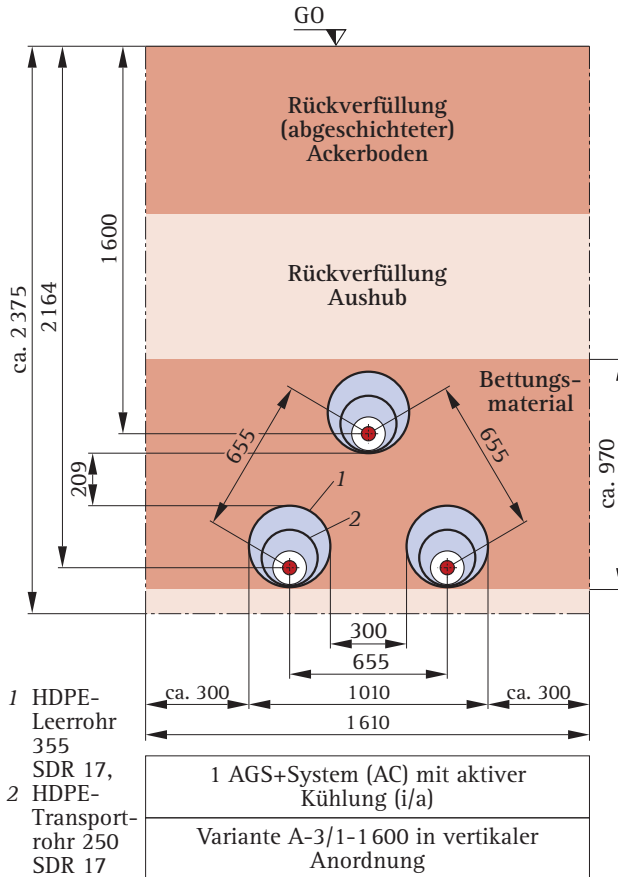


Bild 19.8 AGS Leerrohr-Kabeltransportrohr-System AC in Dreieckanordnung mit aktiver Kühlung

Darüber hinaus wurden innerhalb der Designstudie unterschiedliche Wärmetauschersysteme (AK 1.1, AK 1.2 und AK 2) untersucht (Bild 19.9), in denen die Verlustwärme bzw. Überschusswärme an verträglicher Stelle rückgekühlt bzw. an den Erdboden abgegeben werden kann. Unterschieden und bevorzugt werden horizontale (AK 1.1) und vertikale Erdwärmetauscher AK 1.2.

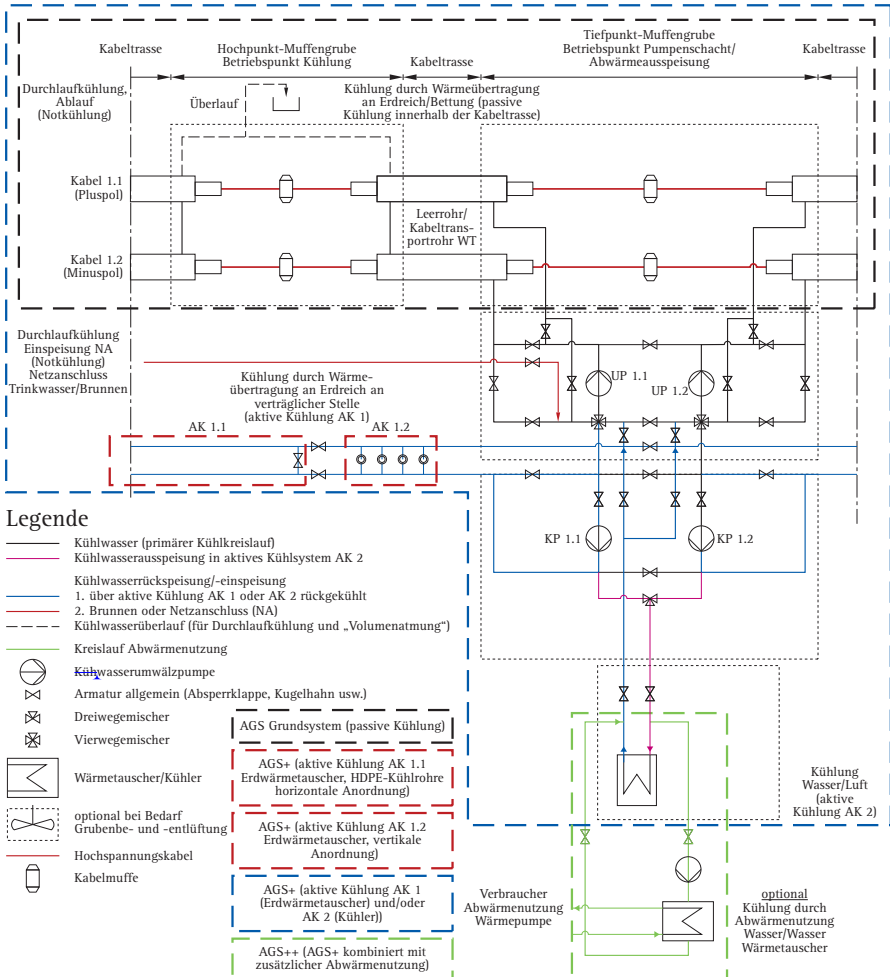


Bild 19.9 Verfahrensschema für AGS+Kühlsysteme zur aktiv gekühlten Stromübertragung mit unterschiedlichen Wärmetauscherausführungen

Beim Einsatz der röhrenbasierten AGS-Kabelverlegetechnik eröffnet sich mit AGS+ die Möglichkeit, die so verlegten HV-Kabel nicht nur passiv, sondern im Bedarfsfall auch aktiv zu kühlen. Vorteile durch die Inanspruchnahme der Option AGS+:

- Technische Komponenten zur Aufrüstung von AGS auf AGS+ sind jederzeit auch zu einem späteren Zeitpunkt nachrüstbar und durch Bereitstellung der technischen Schnittstelle zu AGS+ auch unter Spannung und Aufrechterhaltung des Stromübertragungsbetriebs möglich.
- Bei hochbelasteten HV-Kabeln können vorgegebene Temperaturobergrenzen im Verlauf und an jedem Punkt der gesamten HV-Kabeltrasse mit umweltfreundlicher Wasserkühlung eingehalten werden (Kabelschutz und Bodenschutz/Pflanzenschutz). Möglicherweise lässt sich sogar langfristig die Anzahl der Kabelaustauschmaßnahmen (Ersatzinvestitionen) der mit AGS-Technik verlegten und mit AGS+ betriebenen und aktiv gekühlten Kabel reduzieren!
- Durch das Monitoring von Kabeltrassen durch einfache Wasserdruck- und Temperaturmessung ist die Steuerung der Kabeloberflächentemperatur möglich, die eine Erhöhung der Verfügbarkeit und Effizienz des Stromtransports bzw. den Effekt größerer Versorgungssicherheit bewirken kann.
- Schmaltrassen begünstigen die Infrastrukturbündelung bzw. die Sektorenkopplung von Stromübertragung (HV, DC-Ladestrom für Elektromobilität, leitungsgebundene Energieversorgung von Nutzfahrzeugen u. a.) und IKT (z. B. Breitbandkabelausbau) insbesondere mit der Infrastruktur „Straße“.
- Bei Schmaltrassen ist das Erdbauvolumen reduziert.

19.4 Fazit und Ausblick

Mit der AGS-Verfahrenstechnik wird ein ganzheitliches Verfahren zur Verlegung von Höchstspannungskabeln angeboten, das nicht nur die innovative Kabelverlegung sowie die aktive Kühlung von Stromkabeln umfasst, sondern auch den innovativen AGS-Kabeltransport und die AGS-Kabelspulentechnik. Insbesondere sieht AGS eine positive Entwicklung der Einsatzmöglichkeiten der AGS-Verfahrenstechnik in Verbindung mit den am IFT der Universität Hannover entwickelten thermodynamischen Bemessungsgrundlagen für die AGS+ Betriebstechnik. Hieraus ist zu entnehmen, dass das AGS-Verfahren aus thermodynamischer Sicht positive Eigenschaften für den Betrieb einer Höchstspannungsübertragung als Erdkabel bietet. Dazu gehört u. a., dass die guten konvektiven Wärmeübergangseigenschaften, bedingt durch die Wärmeleitfähigkeit des Wassers, welches im AGS-Rohrsystem das Kabel umgibt, die Temperaturen am Kabel niedriger halten als eine Kabelumgebung mit

Luft oder direkt mit Erde. Gleichzeitig kommt es im passiven Betrieb durch den Effekt der freien Konvektion zu einer verbesserten Wärmeübertragung und Homogenisierung des Temperaturfelds. Während es bei der üblichen Verlegung von Erdkabeln im gesamten Trassenverlauf zu lokalen Austrocknungen des Naturbodens in unmittelbarer Nähe des Kabels kommen kann, die mit einer Verschlechterung der Wärmeleitfähigkeit des Bodens und mit einem möglicherweise Schaden verursachenden Anstieg der Kabeltemperatur verbunden ist, hat die Wasserbettung im Transportrohr (und Leerrohr) vergleichmäßigende, gute Eigenschaften. Der aktive Betrieb bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Wärme nahezu vollständig vom Kabel abzuführen, sodass die thermischen Auswirkungen vom Kabel auf die Umgebung nur gering ausfallen und ein Überschreiten der Grenztemperatur verhindert werden kann. Somit kann zum einen eine Trassenbreite durch eine enge Verlegung deutlich reduziert werden und zum anderen wird eine landwirtschaftlich genutzte Fläche oberhalb des Erdkabels nahezu unbeeinflusst bleiben. Für einen weiteren Schritt wäre eine wissenschaftlich begleitete Erdkabel-Pilotstrecke mit zwei Stromübertragungssystemen ideal, von denen eines in „herkömmlicher“ Kabelverlege- oder Freileitungstechnik ausgeführt und parallel dazu ein System mit AGS/AGS+Technik verlegt und betrieben werden könnte.

19.5 Literatur

- [19.1] Vgl. Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz NABEG, § 11 Vereinfachtes Verfahren
- [19.2] Vgl. Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG), die in Höchstspannungsgleichstromtechnik (HGÜ) ausgeführt werden
- [19.3] *Hamann, R.; Spiegel, W.; Born, C.; Schacht, O.; Teutsch, M.*: Innovative Kabelverlegetechnik und aktiv gekühlte Stromübertragung nach der AGS-Verfahrenstechnik für teilverkabelte HV-Übertragungsnetze. np netzpraxis 55 (2016) H. 9, S. 44–50. – ISSN 1611-0412
- [19.4] *Hamann, R.; Spiegel, W.*: Aktiv gekühlte Stromübertragung in Schmaltrassen. np netzpraxis 54 (2015) H. 1–2, S. 48–54. – ISSN 1611-0412
- [19.5] Working Group 08 (Forced Cooled Cables) of Study Committee No. 21 (HVDC Cables): The calculation of continuous ratings for forced cooled cables. Electra 13 (1979) Nr. 066, S. 59–84. – ISSN 1286-1146
- [19.6] Working Group 21.08 of Study Committee 21: Forced cooled cables – Calculation of thermal transients and cyclic loads. Electra 20 (1986) Nr. 104, S. 23–38. – ISSN 1286-1146
- [19.7] Thermodynamische Grundlagen und Berechnungen für den Betrieb von AGS-Erdkabelsystemen. Design-Studie AGS. Hannover: Leibniz-Universität Hannover, 2018