



Werner Spiegel, Rolf Hamann

Disruption „PowerRoad 2.0“-

Den Weg in die Zukunft des Stromnetzausbaus vereinfachen durch Infrastrukturbündelung der Energienetze mit Bundesfernstraßen

Einleitung und Bewertung der Ausgangslage

Fakt ist: Es fehlen bedarfsgerechte, genehmigungsfähige Stromtrassen für den erforderlichen HV-Netzausbau. Das Bündelungsgebot ist im Bundesnaturschutz- und im Raumordnungsgesetz verankert und besagt, dass neue Stromleitungen möglichst entlang von bestehenden Linien-Infrastrukturen wie Bahntrassen, Kanälen, Autobahnen oder aber neben bereits bestehenden Stromtrassen gebaut werden sollen.

Die Bundesbedarfsplanänderung 2021 ist der Versuch, dem dramatischen Zeitverzug beim Energienetzausbau zu begegnen, mit dem allzu berechtigten Ziel, diesen massiv beschleunigen zu wollen.

Die Bundesregierung macht in dem aktuellen Programm ProgRess III1 darauf aufmerksam, dass sie Bündelungskonzepte für Infrastrukturen weiterentwickeln und umsetzen möchte.

Begleitende Änderungen im Energiewirtschaftsgesetz (z. B. EnWG §12), nach dem die „energiewirtschaftliche Notwendigkeit und der vordringliche Bedarf“ von Energieleitungsbauvorhaben festgestellt werden können, sowie umfangreiche Änderungen im Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) lassen erkennen, dass die Ursachen für Verzögerungen beim Netzausbau leider nur an der bisherigen Praxis der Genehmigungsverfahren festgemacht werden, nachdem die erhoffte Beschleunigung des Netzausbaus durch die Option der Erdverkabelung (seit 2015) bis heute nicht erreicht werden konnte.

Stattdessen sind mehr als fünf Jahre „der Hoffnung“ ins Land gegangen und der Druck auf Politik, die Bundesnetzagentur und auf die Netzbetreiber (ÜNB und VNB) ist gewachsen, doch endlich auch innovative Lösungswege aufzuzeigen, die mehr sind, als von Angst getrieben den Druck auf betroffene Kommunen, Bürger, Land- und Forstwirte zu erhöhen, indem eine „Notfalllage für die Energiewende“ deklariert wird, die die Mittel verkürzter Rechtswege und gesetzlich verankerter Zwangsvollstreckungsmaßnahmen rechtfertigen soll.

¹ Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode, Drucksache 19/20375 vom 18.06.2020, Unterrichtung durch die Bundesregierung: Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen 2020 bis 2023 (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III)



Ohne die **Ursachen für die abnehmende Konsensfähigkeit** und Akzeptanz für den notwendigen Netzausbau erkennbar ernst zu nehmen, wird der Netzausbau, der Flaschenhals der Energiewende in Deutschland, weiter hinter den Erwartungen zurückbleiben. Auch Anreizsysteme, wie verbesserte Entschädigungszahlungen für die Wertminderungen land- und forstwirtschaftlich genutzter Böden und Flächen werden nicht ausreichen, den Schalter umzulegen.

Der massive Widerstand der Betroffenen, die sich schon heute als Verlierer der Energiewende bezeichnen, richtet sich gut begründet und vielschichtig gegen den geplanten Netzausbau mit den Themenschwerpunkten:

- Landschaftsschutz
- Umweltschutz und Bodenschutz
- Neuverbrauch von Ressourcen (Boden und Fläche)
- Kollision mit Rechtsansprüchen der betroffenen Grundeigentümer und Bürger
- Langfristige Gefährdung der Erwerbsgrundlage für Land- und Forstwirtschaft
- Geringe Anpassungsfähigkeit (Flexibilität) der Netze an zukünftigen Bedarf
- Steigende Stromkosten für Endverbraucher (Privathaushalte und Wirtschaft) durch einen verzögerten Netzausbau, z. B. durch hohe Redispatchkosten als Folgekosten, u.a.

Noch vor wenigen Jahren, als der Übertragungs- und Verteilnetzausbau ausschließlich mit Freileitungstechnik geplant wurde, führte der Landschaftsschutz schließlich dazu, dass der Switch vom Freileitungs-Selbstverständnis zum Erdkabelvorrang auf Planungsebene stattfinden konnte.

Nach Abschluss der Bundesfachplanungsphase für die neuen HGÜ-Stromautobahnen gemäß NABEG und den Erkenntnissen daraus, hat der derzeit geplante Netzausbau gemäß Netzentwicklungsplan 2035 (2021) im Grundverständnis der Novellierung des Bundesbedarfsplangesetzes (2021) nach wie vor die Hauptzielsetzung, den Netzausbau zu beschleunigen, mit einer noch größeren gesellschaftspolitischen Relevanz und Brisanz als je zuvor.

Es sind sich alle einig darin, dass bereits in den Planungsprozessen zwingend zu berücksichtigen sein wird, dass der Netzausbau konsensfähiger, ökologisch verträglicher und nach wie vor dauerhaft bezahlbar bleiben muss. Diesem hohen Anspruch will das **AGS PowerRoad 2.0 Konzept** gerecht werden.



Mit PowerRoad 2.0 endlich auch das Bündelungsgebot umsetzen

Es braucht einen **Paradigmenwechsel**, ohne den unserer Meinung nach die erhoffte Netzausbaubeschleunigung nicht gelingen kann. Ein Paradigmenwechsel ist jedoch nur gerechtfertigt, wenn eine entsprechend benötigte marktreife Technik zur Verfügung steht. Deshalb ist es uns wichtig, erst einmal alle technischen Voraussetzungen für die Umsetzung des PowerRoad-Bündelungskonzepts nachweislich erfüllen zu können; eine unabdingbare Grundlage für eine strategische Neuausrichtung der Netzausbauplanung.

Der Umsetzung des PowerRoad-Konzepts muss ein politischer und gesellschaftlich Schritt vorausgehen, der durch eine Novellierung der Rahmengesetzgebung für den Netzausbau gesichert wird, bevor eine milliarden schwere strategische Investition in die **Leerrohrinfrastruktur** erfolgt, **die in der PowerRoad-Umsetzung als integraler Bestandteil der bestehenden Basisinfrastruktur Straße** verstanden wird. Dieses Grundverständnis zu entwickeln und zu vermitteln ist eine Herausforderung, da sie die Vereinigung zweier Welten voraussetzt, die bisher getrennt sind: Verkehrsnetze und Energienetze. Wir folgen mit dem PowerRoad-Konzept seit langem konsequent der von Wissenschaft, Gesellschaft und Politik getragenen Einsicht, dass die Energiewende nur gemeinsam mit einer Verkehrswende und Wärmewende erfolgreich umgesetzt werden kann. Um dies zu erreichen, musste marktreife Technik entwickelt werden, die auch universell einsetzbar ist und -was u. E. besonders wichtig ist- von Bau- und Montageunternehmen mit dem Stand-der-Technik einfach umgesetzt werden kann.

Die bekannte AGS-Technik wurde zielgerichtet weiterentwickelt, um drei essentielle Randbedingungen und Forderungen für das PowerRoad-Konzept erfüllen zu können.

1 Innovative Bau- und Montagetechnik für Kabelverlegung und -austausch

Die AGS-Kabelverlegetechnik, bekannt als **Auftrieb gestütztes Slipping**, wurde bau- und montagetechnisch vielfach seit 2016 am Standort Stade erprobt und in der Jahresausgabe Anlagentechnik 2020 bereits beschrieben.²

² Vgl. Hamann, Rolf, Spiegel, Werner, AGS-Erdkabelsysteme – mehr Planungssicherheit durch marktreife Technik zur Förderung der Konsensfähigkeit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit zukunftsfähiger Stromnetze, in: Cichowsky, Rolf Rüdiger (Hrsg.), Anlagentechnik für elektrische Verteilnetze, Jahrbuch 2020, VDE-Verlag, Berlin, Offenbach 2021, S. 209ff



Abb. 1: AGS-Versuchsbetrieb am Test- und Pilotstandort Stade ©

Beim AGS Verfahren wird ein sogenannter Kabeltransportrohrstrang in ein wassergeflutetes Leerrohr eingezo-gen (s. Abb. 1), wobei die Bedingung $A \approx G$ erfüllt ist. Im Zustand der „Schwerelosigkeit“ sind beim Einzug die Reibungskräfte zwischen Kabeltransportrohr und Leerrohr in gradlinigen Trassenbereichen quasi gleich Null (s. Abb. 2).

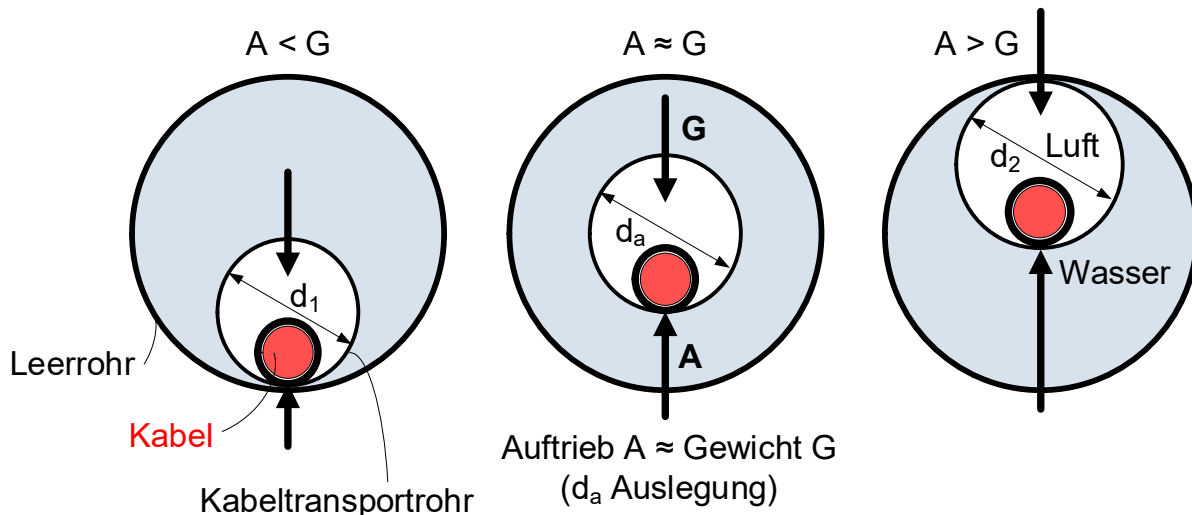


Abb. 2: AGS-Kabelverlegetechnik unter Nutzung des archimedischen Prinzips ©

Geringe Reibungskräfte zwischen Kabeltransportrohr und Leerrohr entstehen nur noch in gekrümmten Trassenabschnitten, die durch entsprechende Zugkräfte überwunden werden müssen.

Nachfolgend wird das Herstellungsprinzip für einen Kabeltransportrohrstrang und der Einschluss des zu verlegenden Kabels vor dem eigentlichen Einzug in das Leerrohr dargestellt (s. Abb. 1.1 bis 1.6).

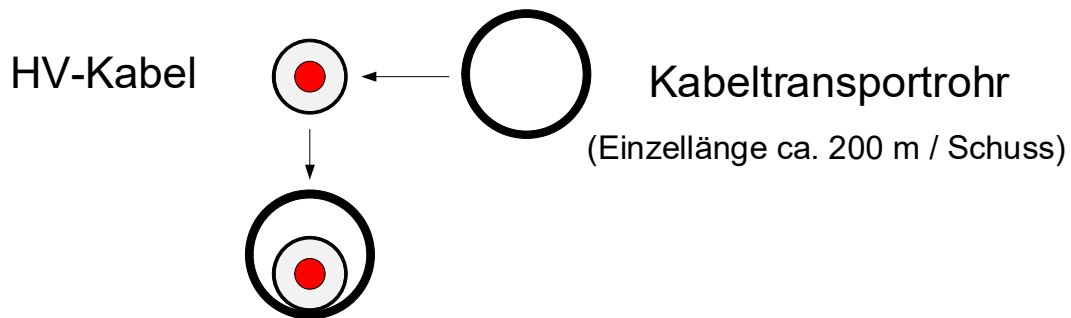


Abb. 1.1 Montageprinzip: Nach Auszug des Kabels von der Kabelspule auf ein entsprechend langes Rollgerüst werden über das fixierte Kabel einzelne Transportrohr-Langschüsse gezogen und miteinander verbunden ©

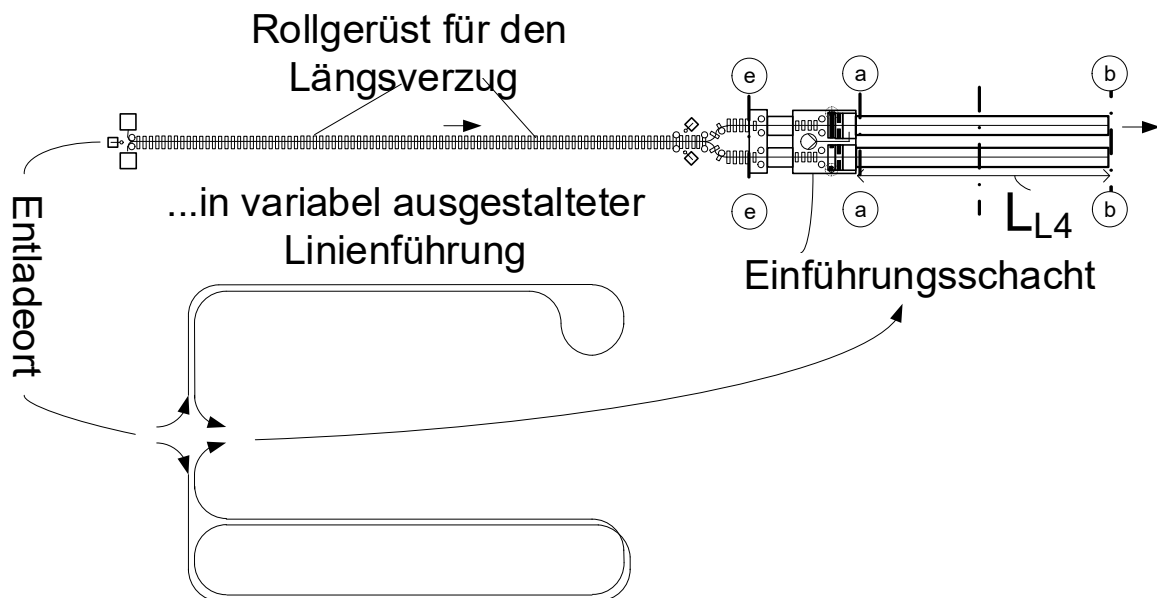


Abb. 1.2 Schritt 1: Bereitstellung des Rollgerüsts zwischen Entladeort des Kabels und Einführungsschacht / -grube ©



Abb. 1.3 Schritt 2: Längsverzug und Ablage des Kabels auf dem Rollgerüst am Transportzielort ©

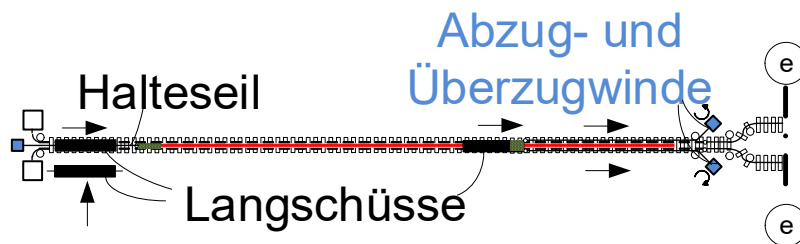


Abb. 1.4 Schritt 3: Schussweises Aufziehen der Transportrohr-Langschüsse ©



Abb. 1.5 Schritt 4: Fügen der Transportrohr-Langschüsse über dem innen liegenden Kabel im Simofuse-Verfahren® am Test- und Pilotstandort Stade

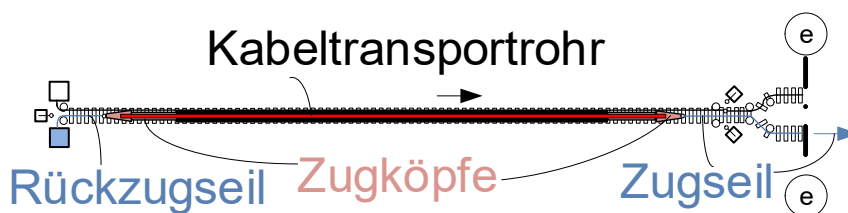


Abb. 1.6 Schritt 5: Schließen des Kabeltransportrohrstrangs und Anschluss der Zugköpfe ©

Zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit für zukünftige Investitionen müssten **röhrenbasierte Kabelverlegungstechniken zum Standard erklärt** und folgerichtig zusätzliche Flexibilitätskriterien auch in der Rahmengesetzgebung verankert werden; denn zur Nachhaltigkeit gehört zwingend die Flexibilität, die eine Anpassung an zukünftige Technik-Standards ermöglicht, also die spätere Austauschbarkeit der verlegten Kabel ohne erneute Tiefbaumaßnahmen und ohne erneut Leerrohre verlegen zu müssen.

Bau- und Montageverfahren sollten deshalb solche Qualitätskriterien erfüllen können, dass die Leerrohre oder Kabelschutzrohre nicht bereits bei der Erstbelegung

dauerhaft und irreversibel geschädigt werden, die einen späteren Kabelaustausch unmöglich machen.

Beim **konventionellen Kabeleinzug (1)** in Leerrohr wird der Einsatz sogenannter Pusher erforderlich, i. d. R. elektro-mechanische Kabelschubgeräte. Um Kabelzugkräfte zu begrenzen, sind oft mehrere solcher Pusherstationen auch in gradlinigen Trassenverläufen erforderlich, die zum Zeitpunkt der Kabelmontage in offenen Baugruben eingesetzt werden müssen, um eine einzelne Kabellänge - maximal ca. 1200 m HV-Kabel können derzeit auf Straßen transportiert werden- über alle Sektionen einer geteilten Leerrohrgesamtstrecke einziehen zu können. Das Schadenspotential / Leerrohrbeanspruchung durch Seilzug / Kabelzug ist in gekrümmten, mäandernden Trassenverläufen beim konventionellen Kabeleinzugverfahren am größten (Vergleich s. Abb. 2). Äußerer Erddruck auf das Leerrohr bei gleichzeitig radial von innen wirkenden Kräften durch den Seilzug/ Kabelzug können das Leerrohr durch bleibende Verformungen (Ovalität) und Einkerbungen (Seileinschnitte) schädigen.

Festzustellen ist: Je größer die Kabelzugkräfte sind -insbesondere in nicht gradlinigen Trassenverläufen- desto größer ist die Schadenswahrscheinlichkeit für das Leerrohr bedingt durch das Zusammenspiel aus vertikalem Erddruck und der rechtwinkelig dazu wirkenden Horizontalkraft im Leerrohr. I. d. R. kann ein eventueller oder wahrscheinlicher Leerrohrschaden nach dem Kabeleinzug nicht mehr erkannt oder gar behoben werden. Ein späterer kompletter Kabelaustausch kann mit dem konventionellen Kabeleinzugverfahren kaum noch gewährleistet werden.

Beim **AGS-Kabeleinzugverfahren (2)** sind Pusher-Zwischenstationen, wie oben beschreiben, wegen deutlich geringerer Zugkräfte bzw. deutlich geringerer Reibungskräfte nicht erforderlich. Dies haben die Erfahrungen am Versuchsstandort Stade -mit mäanderndem ca. 1100 Meter langem Trassenverlauf- gezeigt, an dem die schadensfreie Reversibilität des Verfahrens viele Male bestätigt werden konnte.

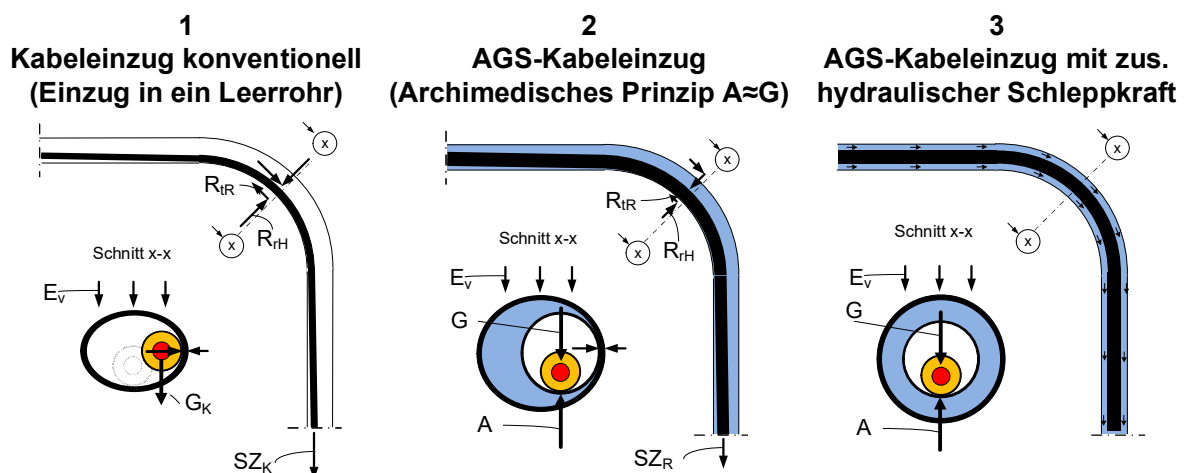


Abb. 2: Vergleich Kabeleinzugverfahren im Hinblick auf ihr Schädigungspotential für Kabel, Leer- und Kabelschutzrohre ©



Mit **AGS-ultra (3)**, der neuesten technischen Weiterentwicklung der AGS-Kabelverlegetechnik, können nunmehr auch die bisherigen Längenbegrenzungen für den Kabeleinzug gänzlich aufgehoben werden und das Schadenspotential für Leerrohre und Kabel minimiert werden. Erreicht wird dies durch das gleichzeitige Zusammenwirken zweier physikalischer Effekte, der des archimedischen Prinzips, des **Auftriebs** unter der Bedingung $A \approx G$ (s. Abb. 2), **und** des Effekts der **hydrodynamischen Schleppkraft**, die einen **Hydro-Pushing-Effekt** erzeugt. Durch das zusätzliche „Eintreiben“ des AGS-Kabeltransportrohrstrangs können Kabel insbesondere bei nicht gradlinigen Trassenverläufen reibungsminimiert, reversibel auch in ultralangen Leerrohrstrecken verlegt werden, ohne am Kabel selbst ziehen zu müssen (s. Abb. 2 rechts). Mittels Rezirkulationspumpen (s. Abb. 4 und Abb. 5) und anderen hydraulischen Schlüsselkomponenten kann der Effekt der hydrodynamischen Schleppkraft auf dem gesamten, nicht mehr längenbegrenzten Leerrohrabschnitt erzeugt, geregelt und beliebig lange aufrechterhalten werden.



Abb. 4: AGS-Versuchsbetrieb am Test- und Pilotstandort Stade ©

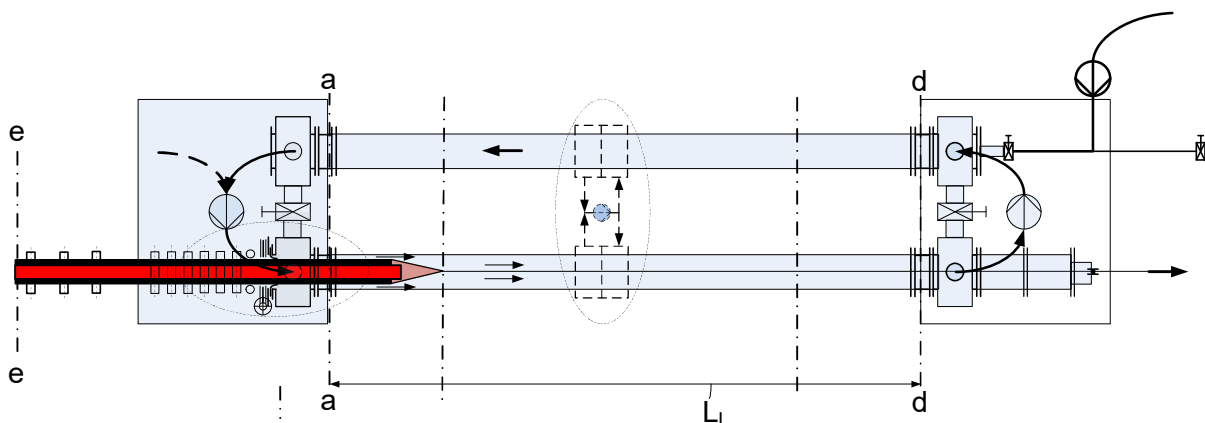


Abb. 5: Schema: Kombiniertes AGS Hydro-Pushing zur Verlegung ultralanger HV-Stromkabel ©



Mit der Aufhebung der Längenbegrenzung für den Kabeleinzug in Leerrohre können Effizienz und Wirtschaftlichkeit gegenüber dem bekannten AGS-Verfahren erheblich gesteigert werden.

Nachfolgend, siehe Abbildungen 6 bis 9, soll schematisch gezeigt werden, wie für ein 2-poliges Stromübertragungssystem auf einer fiktiven und willkürlich gewählten Leerrohrsystemlänge L_L von ca. 5km, **mit AGS-ultra hoch effizient, von einem einzigen Kabel-Transportzielort aus, viele einzelne HV-Kabel nacheinander in ein Leerrohrsystem der mehrfachen Länge eines Einzelkabels verlegt werden können.** Die Systemgesamtlänge ist hier entsprechend den angenommenen Einzelkabellieferlängen von ca. 1200 m aufgeteilt in 4 Teillängen L_{L1} bis L_{L4} (\approx Kabellänge) und 3 Durchgangssegmente L_{LM} , Areale in denen nach der Verlegung die Öffnung des Durchgangssegments erfolgen kann, um den Montage-Zielschacht und die hydraulischen Komponenten für den nächsten Montageschritt „nach vorne“ zu verlegen.

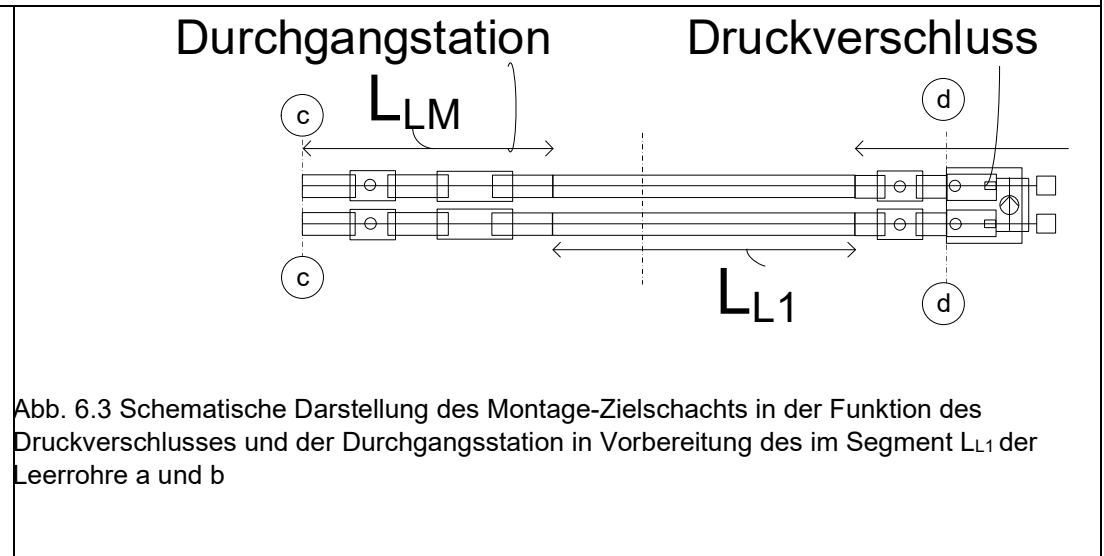
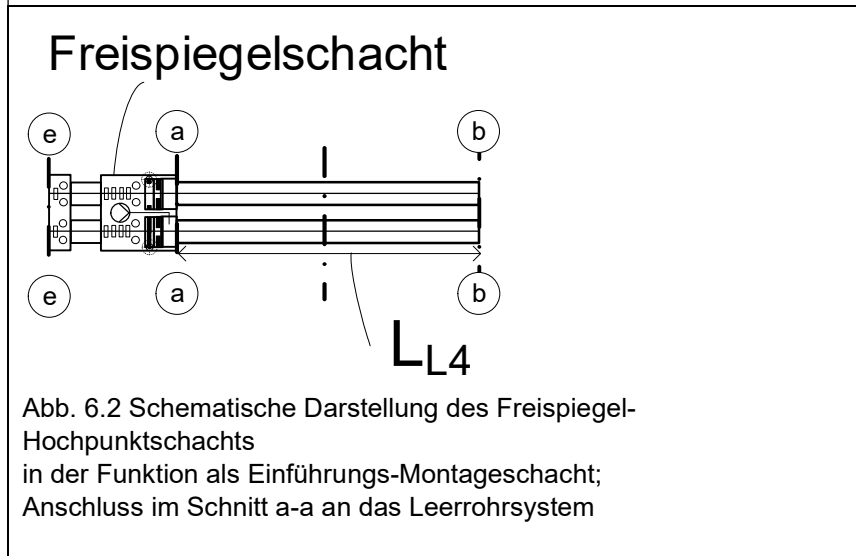
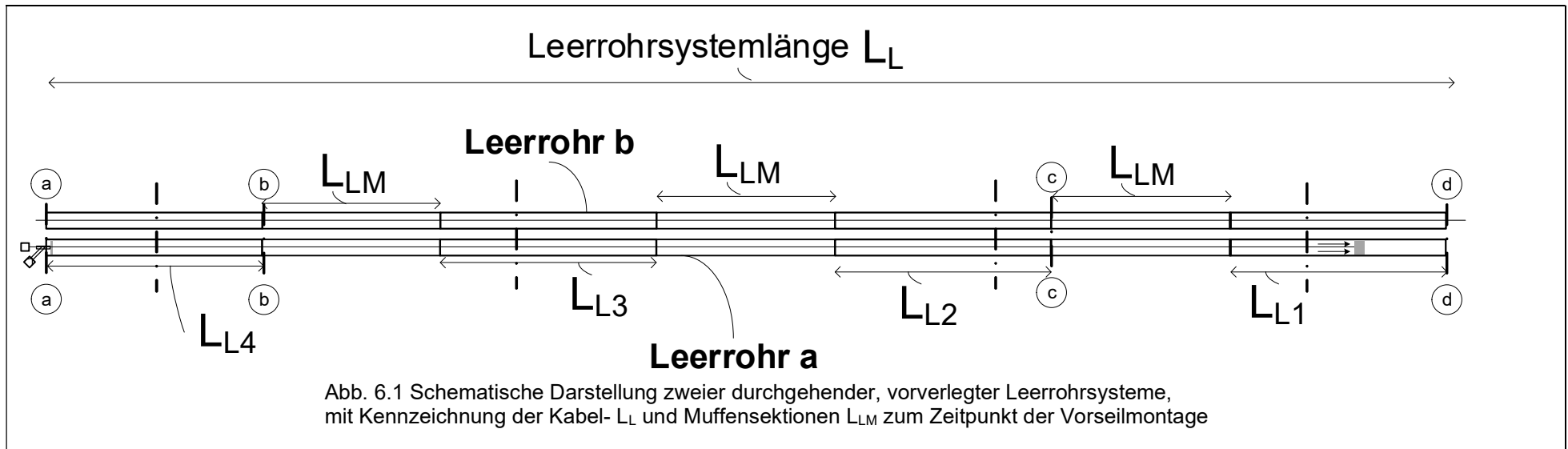


Abb. 6: Leerrohrleitungsbau und Montagevorbereitung für die **AGS-ultra Kabel-Transportrohr-Verlegung** ©

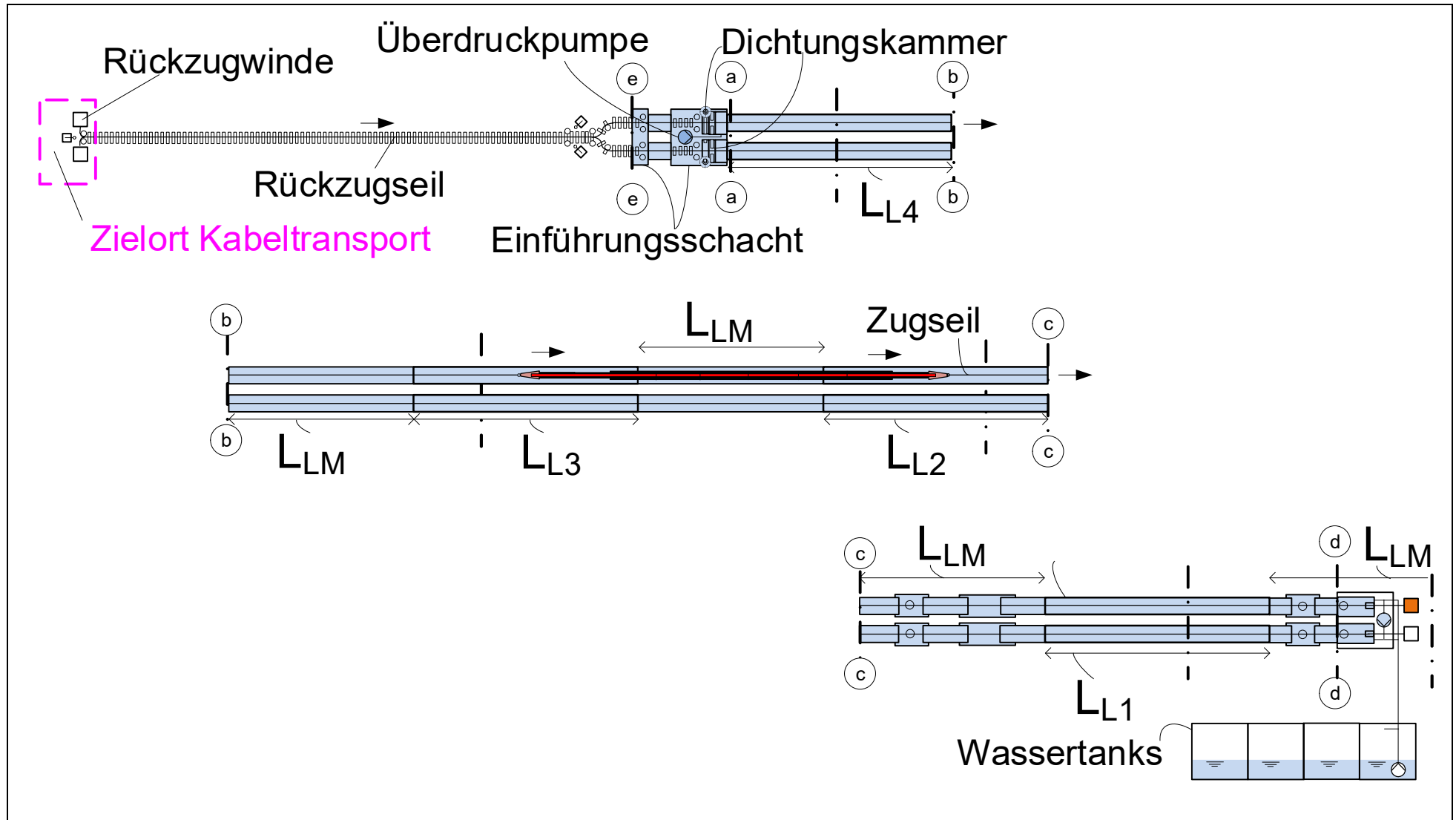


Abb. 7: Schematische Darstellung der AGS-ultra Kabel-Transportrohr-Verlegung in das geflutete Leerrohrsystem; Zeitpunkt: Durchgang Segment L_{L3}-L_{L2} ©

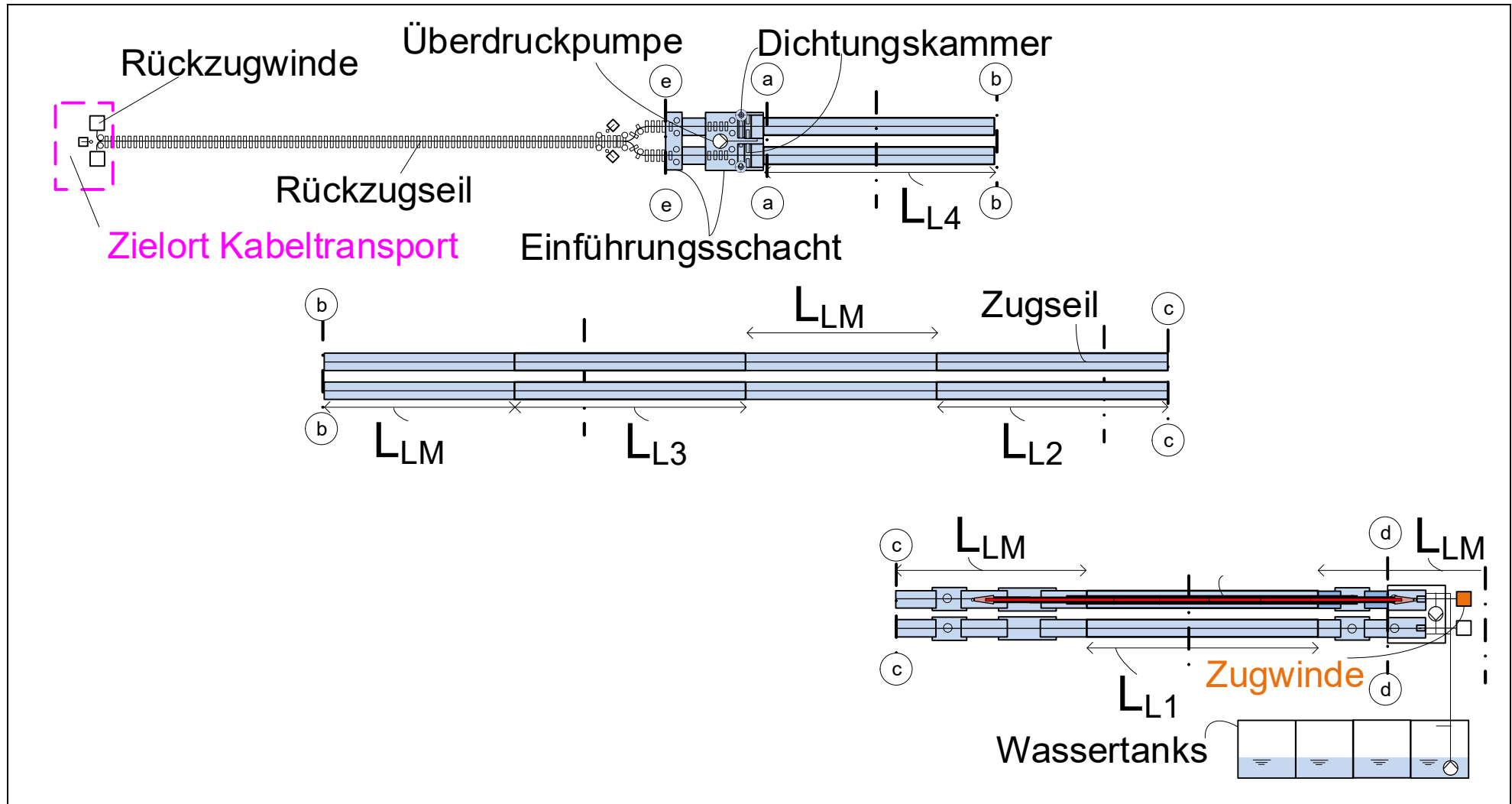


Abb. 8: Schematische Darstellung der der AGS-ultra Kabel-Transportrohr-Verlegung in das geflutete Leerrohrsystem; Zeitpunkt: Zielerreichung Segment L_{L1} ©

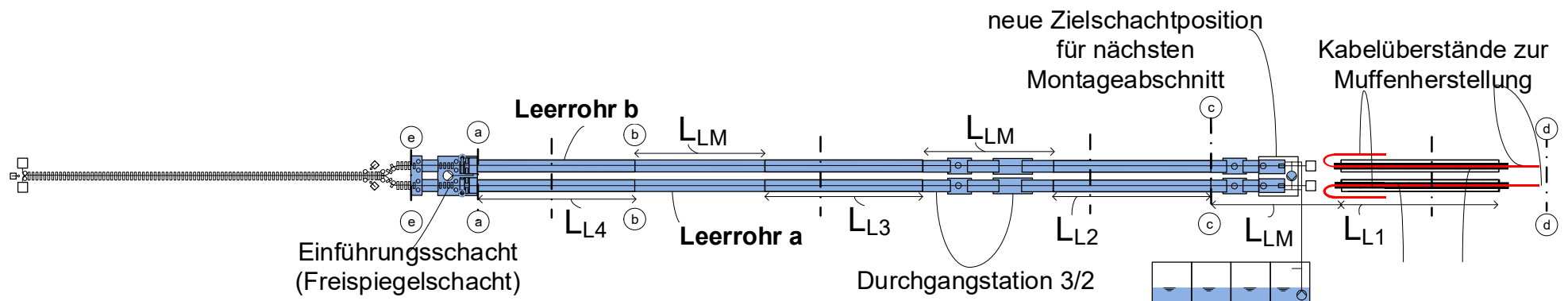


Abb. 9: Schematische Darstellung der **AGS-ultra Kabel-Transportrohr-Verlegung**; Zeitpunkt: Montagevorbereitung in Segment LL_2 ©



2 Kompakte Leerrohrverlegung zum Erhalt von Schmaltrassen

Mit der auch in langen Leerrohrabschnitten kabelschonenden **Kabeleinzugstechnik AGS-ultra** (s. Abb. 6 bis 9) werden die montagetechnischen **Grundvoraussetzungen für PowerRoad 2.0** geschaffen, beispielsweise und insbesondere um HV-Stromübertragungssysteme **röhrenbasiert auch unterhalb der Straße, verlegen und bei Bedarf, austauschen** zu können.

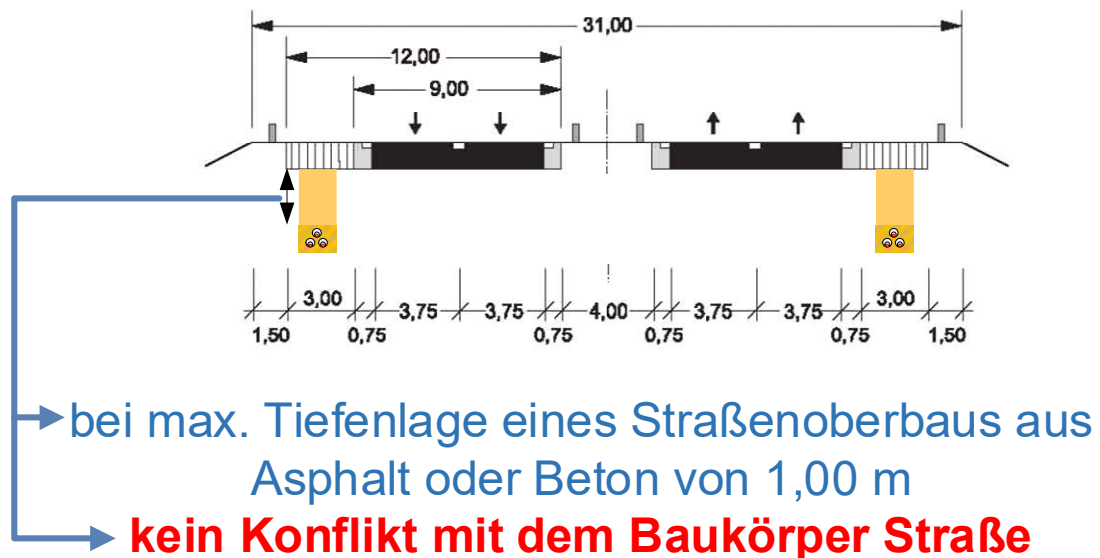
Es wird schnell ersichtlich, dass ein PowerRoad-Konzept aber nur dann zu realisieren ist, wenn Kabel so eng verlegt werden, z. B. in Dreiecksverlegung (s. Abb. 10),



Abb. 10: Beispiel: Schmaltrasse mit Dreiecksanordnung der Leerrohre ©

dass sie sich auch in den Straßenbaukörper integrieren lassen, z. B. unterhalb des Standstreifens von Autobahnen. Bauverfahrenstechnisch ist dies Stand der Technik und unbedenklich, siehe Abb. 11, die einen typischen Autobahnquerschnitt im Dammbereich zeigt.

Querschnitt einer zweistreifigen Autobahn:



(Ergebnis einer Designstudie am Institut für Straßenwesen ISAC der RWTH Aachen)

Abb. 11: Anordnung zweier HV-Drehstromsysteme in Dreiecksanordnung unterhalb der Standstreifen von Autobahnen ©

Bei einem Autobahnquerschnitt im Trasseneinschnitt, bei dem die Fahrbahnoberfläche auf oder unterhalb Geländehöhe liegt, können kompakte Leerrohrsysteme auch unterhalb des Banketts, bzw. entlang des eigentlichen Baukörpers verlegt werden (hier nicht abgebildet).

Hydraulische Endverschlüsse und Kabelmuffen werden im PowerRoad-Grundkonzept spannungsfrei neben dem Straßenbaukörper platziert, vorzugsweise im Trasseneinschnitt.

3 Aktive Kühlung kompakt verlegter Stromübertragungssysteme

Um das Bündelungskonzept „PowerRoad 2.0“ vollumfänglich bedienen zu können, müssen die späteren **betriebstechnischen Erfordernisse** für eine Stromübertragung in Schmaltrassen eingehalten werden können, damit eine Überwärmung der Kabel trotz kompakter Verlegung sicher ausgeschlossen werden kann.

Seit 2013 haben wir die Option der aktiven Kabelkühlung nie aus dem Auge verloren. Wenn wir nunmehr mit AGS-ultra erreicht haben, mit auftriebsbedingter „Schwerelosigkeit“ und Hydro-Pushing Kabeltransportrohrstränge in kompakt verlegte Leerrohre beliebiger Länge, auch bei mäanderndem Trassenverlauf, zugbelastungsfrei reversibel verlegen zu können, so sollte es doch nur noch ein kleiner logischer Schritt sein, das so entstandene Leerrohr-Kabeltransportrohrsystem

auch für den Stromübertragungsbetrieb mit Trink-/ Brunnenwasser zu füllen, um die mit Hydropower verlegten Kabel, wassergebettet, bei Bedarf auch aktiv zu kühlen und ggfls. die Abwärme sinnvoll nutzen zu wollen.

In diesem dritten und **letzten Schritt**, der **betriebstechnischen Umsetzung des AGS- PowerRoad-Prinzips**, kann für die Stromübertragung in Schmaltrassen bei Kühlbedarf die **Ausspeisung der Abwärme aus den Stromübertragungsverlusten** über die hydraulischen Endverschlüsse des Leerrohr-Kabeltransportrohr-Systems erfolgen. Das zirkulierende Kühlmedium Wasser kann nach einer Wärmetauscher-Passage, die im Kühlvorrang-Modus betrieben wird, bedarfsgerecht rückgekühlt in das Leerrohr-Kabeltransportrohrsystem zurückgespeist werden (s. Abb. 11).

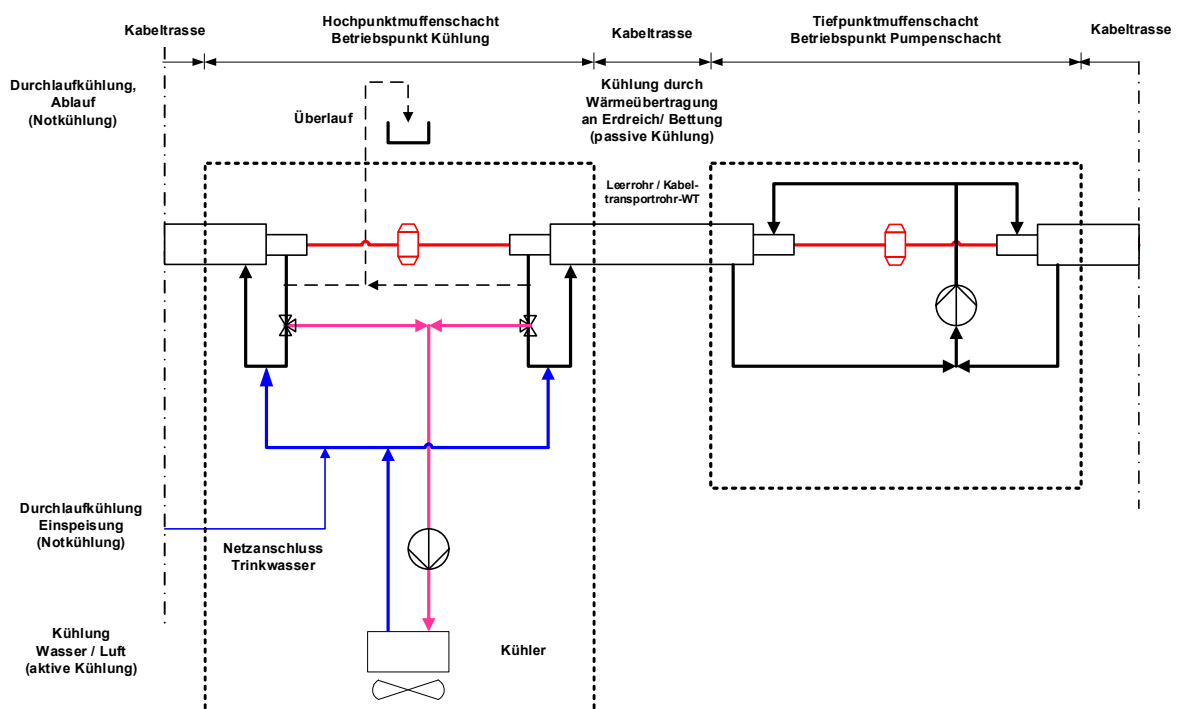


Abb. 11: Grundschemata: Aktive Kühlung von AGS Leerrohr-Kabeltransportrohr-Systemen ©

Für die Kühlung des Muffenareals (Kabelenden und Kabelmuffen) -sollte es nach kühltechnischen Erfordernissen eigenständig betrachtet werden- ist eine direkte oder indirekte Wasserkühlung vorgesehen (hier nicht abgebildet).

Fazit und Ausblick

Mit der gewonnenen Erkenntnis, dass die essentiellen technischen Randbedingungen und Forderungen erfüllt werden können, ist der Gedanke, HV-Stromtrassen mit Bundesfernstraßen zu bündeln, alles andere als revolutionär. Ganz im Gegenteil: Innovative, aber inzwischen auch marktreife AGS-Technik, ermöglicht bereits heute die technische Umsetzung von PowerRoad 2.0. ganz im Lichte der Infrastrukturbündelung, einem Gebot, dass seit 2014 bestehende Rechtsgrundlage für den Stromnetzausbau in Deutschland ist!



Innerstädtisch ist die Umsetzung des Infrastrukturbündelungsgebots mehr als selbstverständlich, und es ist hier schon lange Stand der Technik, dass auch HV- und MV-Stromleitungen unter der Straße verlegt werden. Am Ortsausgang endet jedoch bisher dieses Selbstverständnis für Erdkabelverlegung.

Schmaltrassen zu realisieren, in denen gleichzeitig große Strommengen schadlos für Mensch, Kabel und Umwelt transportiert werden, ist eine schon lange bestehende Zielsetzung, die mit der Supraleitungstechnik bereits ihre Machbarkeit unter Beweis gestellt hat, z. B. mit dem Projekt AmpaCity in Essen, bei dem jedoch die Ingangsetzung und Aufrechterhaltung der aktiven Kühlung der Kabel mit flüssigem Stickstoff eine der technischen Herausforderungen und Hürden darstellt, die es noch zu beherrschen gilt.

HV-Schmaltrassen mit passiver und aktiver Wasserkühlung, wie sie mit AGS-Technik gebaut und betrieben werden können, sind dagegen wirtschaftlich und technisch leicht umsetzbar. Standardkomponenten aus der Heizungs- und Klimatechnik sorgen für eine das Kabel schützende Wasserbettung im PE-100-Doppelrohr (bestehend aus Leerrohr und Kabeltransportrohr).

Der „revolutionäre“ Schritt vom Landkabel als Erdkabel zum Landkabel als Straßenkabel müsste also „nur noch in den Köpfen“ derer stattfinden, die für Netzplanung, Netzausbau und Netzbetrieb zuständig sind, um den eigentlich selbstverständlichsten und rechtlich manifestierten Wunsch, die Stromübertragung mit bereits existierenden Infrastrukturen kurzfristiger und ohne langwierige Genehmigungsprozesse zu vereinen, Wirklichkeit werden zu lassen. In diesem „nur“ liegt aber offensichtlich die größte Hürde.