



Interessenverband Supraleitung e.V. –Agrippinawerft 6 – 50678 Köln

Stellungnahme des ivSupra zur 2. NEP-Konsultation

Interessenverband Supraleitung e.V.

Agrippinawerft 6

50678 Köln

Telefon: +49 (0) 177 – 874 8418

E-Mail: info@ivsupra.de

Der Interessenverbands Supraleitung e.V. ist mit der Veröffentlichung dieser Stellungnahme einverstanden.

Supraleiter lösen Probleme des Netzausbaus!

Der Interessenverband Supraleitung e.V., ivSupra, hat erfreut festgestellt, dass immer mehr Menschen den Einsatz von Supraleiter(kabel)n in den Übertragungsnetzen wünschen. Umso bedauerlicher ist die Entscheidung der Übertragungsnetzbetreiber, einen möglichen Einsatz von Supraleiter(kabel)n in die ferne Zukunft zu vertagen und sie in keinem Pilotprojekt zu erproben¹, obwohl gerade in Deutschland die Bedingungen dafür ideal sind. Die deutsche Supraleiterbranche deckt die gesamte Wertschöpfungskette der Supraleitertechnologie ab. Dies ist in Europa einzigartig.

Der europäische Verband der Übertragungsnetzbetreiber teilt diese Skepsis nicht und qualifiziert Supraleiter als einen „Game Changer“² und definiert den Technical Readiness Level von Supraleiterkabeln zwischen mindestens TRL 6 (DC-Kabel) und TRL 7 (AC-Kabel). Entsprechend wurde auf europäischer Ebene ein weiteres Supraleiterkabel-Projekt, SCARLET, gestartet, das u.a. zum Ziel hat, Empfehlungen für den „HVDC-Supraleitungsstandard der Zukunft“³ zu erarbeiten.

Supraleiter bieten viele Möglichkeiten für die Stromnetze

Beim Einsatz der Supraleitertechnologie im Rahmen des Netzausbaus liegt der Fokus auf supraleitenden Kabelsystemen. Auch in unseren bisherigen Stellungnahmen haben wir uns vollständig hierauf beschränkt. Wir möchten aber betonen, dass Supraleiter darüber hinaus weitere technische Möglichkeiten bieten, deren Berücksichtigung in der Netzplanung einige Probleme lösen könnten. Wir nennen nur zwei Beispiele:

- **Supraleitende Fehlerstrombegrenzer** reagieren in Millisekundenschnelle und sind eigensicher. Sie ermöglichen eine engere Vermaschung vorhandener Netze und eine sichere Einbindung volatiler Energiequellen, da sie die Netze und die nachgelagerte Netztechnik zuverlässig vor Überspannungsschäden schützen. Auf Mittelspannungsniveau wurden sie bereits ausführlich erprobt und erste Demonstratoren im Hochspannungsbereich

¹ Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf, S. 177

² ENTSO-E Vision, A Power System for a Carbon Neutral Europe, 10.10.2023, S. 17

³ <https://www.rifs-potsdam.de/de/forschung/supraleitende-kabel-fuer-eine-nachhaltige-energiewende-scarlet>

sind in Russland, China und Korea in Betrieb. In einer Studie rechnet das Karlsruher Institut für Technologie mit einer Entwicklungszeit für einen 340 KV-Begrenzer von fünf Jahren.⁴

- **Supraleitende Flywheel-Speicher** sind extrem reaktionsschnell und können in Sekunden Strom aufnehmen und abgeben. Im Gegensatz zu konventionellen Schwungradspeichern sind sie eigensicher und haben keine Reibungsverluste. Ihre Reaktionsschnelligkeit macht sie zum idealen Zwischenschritt zwischen Netz und Batteriespeichern, deren Reaktion oft um einige Sekunden verzögert eintritt, da sie Netzschwankungen durch ihre große Flexibilität sofort ausgleichen. So erleichtern sie die Einbindung volatiler erneuerbarer Energiequellen. In diesem Bereich ist allerdings noch einige Entwicklungsarbeit zu leisten.

Supraleiterkabel – Das Kabel der Zukunft jetzt planen!

Die ÜNB argumentieren, dass nicht abzusehen sei „Inwieweit Supraleitungen für große Projekte mit langen Distanzen geeignet sind“⁵, da bislang nur auf Mittelspannungsebene mit kurzen Kabeln Betriebserfahrungen gesammelt wurde.

Hierzu ist folgendes festzustellen: Da die Vorteile supraleitender Kabel so groß sind, ist es eigentlich erstaunlich, dass die Übertragungsnetzbetreiber kein einziges Pilotprojekt gestartet haben, um diese Technologie für die Übertragungsnetze zu qualifizieren:

1. **Die hohe Stromtragfähigkeit führt dazu, dass Supraleiterkabel äußerst kompakt sind.**
Das bedeutet, dass
 - a. die Trassen wesentlich schmaler sein können als bei konventionellen Kabeln. Konkret liegt die Trassenbreite für Supraleiterkabel bei zwei (2!) Metern. Dies verringert die Kosten für die benötigte Trassenfläche und die folgende Trassenpflege substantiell
 - b. ein einziges Kabel ein ganzes Kabelsystem aus mehreren Kabeln ersetzt, und damit die Tiefbau-, Verlege- und Transportkosten deutlich reduziert werden.
 - c. wesentlich weniger Rohstoffe verbraucht werden
2. **Supraleiter leiten Wechselstrom mit äußerst geringen und Gleichstrom ohne elektrische Verluste.**
 - a. So können Supraleiterkabel – trotz der notwendigen Kühlung – die Netzverluste halbieren.
 - b. Außerdem können aufgrund dieser Eigenschaft große Strommengen auf einem niedrigeren Spannungsniveau transportiert werden. Damit werden Einsparungen bei der nachgelagerten Netztechnik möglich, deren Kosten mit zunehmender Spannung exponentiell steigen.
3. **Supraleiterkabel haben keine Emissionen.**
 - a. Da sie den Boden nicht erwärmen, wird dieser auch nicht ausgetrocknet.

⁴ Noe, M et al. 2023. *380 kV Superconducting Fault Current Limiter Feasibility Study*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. DOI: <https://doi.org/10.5445/KSP/1000161057>, S. 123.

⁵ Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf, S. 177.

- b. Da sie keine elektromagnetischen Felder emittieren, stoßen sie auf weniger Widerstand und erhöhen die Akzeptanz von Netzausbauprojekten.
- c. Dies ermöglicht auch eine Verlegung von Supraleiterkabel direkt neben Daten- oder Wasserleitungen ohne jegliche Interferenzen oder Beeinträchtigungen. Auch Interferenzen mit GPS-gestützten Landmaschinen sind ausgeschlossen.

Diese Vorteile haben wir ausführlich in unserer ersten Stellungnahme zum ersten Entwurf des Netzentwicklungsplans Strom 2037 / 2045 dargelegt. Die Konsultation hat – wie im zweiten Entwurf berichtet – gezeigt, dass sich viele für den Einsatz von Supraleiterkabeln aussprechen. Dies ist ein weiterer Beleg dafür, dass der Einsatz von Supraleiterkabeln die Akzeptanz des Netzausbaus erhöht und so zu seiner Beschleunigung beitragen kann.

In der Konsultation zur Strategischen Umweltprüfung werden wir noch einmal ausführlich auf die umweltbezogenen Argumente eingehen.

Die Stromnetze zukunftsfähig ausbauen

Hier möchten wir aber den Schwerpunkt auf die Zukunftsfähigkeit unserer Stromnetze legen. Wie die Übertragungsnetzbetreiber feststellen, werden die

„Anforderungen an das Stromübertragungsnetz [...] immer komplexer. Die Dekarbonisierung mittels Elektrifizierung sorgt dafür, dass immer größere Mengen an Strom verbraucht und teilweise über längere Strecken transportiert werden. Zudem muss auf eine wetterbedingt volatile Erzeugung erneuerbarer Energien (EE) reagiert und das Netz immer flexibler betrieben werden können. Die Weiterentwicklung des Stromnetzes ist somit wichtiger Bestandteil einer gelingenden Energiewende.“⁶

Der Transport immer größerer Strommengen über teils große Distanzen bedeutet erstens, dass die Netze in großem Maßstab ausgebaut werden müssen – und dies schnell, um die Klimaziele einzuhalten. Es bedeutet zweitens, dass die Netze so effizient wie möglich sein müssen. Drittens müssen sie so ausgelegt sein, dass die Versorgungssicherheit jederzeit gewährleistet ist.

In diesem Spannungsfeld ist nachvollziehbar, dass die Übertragungsnetzbetreiber möglichst auf altbewährte Technologien zurückgreifen. Schon der von der Politik durchgesetzte Vorrang von Erdkabeln statt Freileitungen hat sie vor große Herausforderungen gestellt. So erklären die Übertragungsnetzbetreiber denn auch:

„Die Übertragungsnetzbetreiber haben in diesem Netzentwicklungsplan nur jene Innovationen berücksichtigt, deren Marktverfügbarkeit bzw. Einsatzreife heute schon vorliegt bzw. absehbar ist. Sollten weitere Innovationen im Verlauf der nächsten NEP-Zyklen die Markt- bzw. Einsatzreife erlangen, so werden die ÜNB eine Berücksichtigung im NEP prüfen.“⁷

⁶ Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf, S. 16

⁷ Ebd., S. 176

Stärkere Förderung von Innovationen im Regulierungsrahmen festschreiben

Die Übertragungsnetzbetreiber sind der Ansicht, dass sie der Regulierungsrahmen daran hindert Innovationen einzusetzen.

„Der derzeitige Regulierungsrahmen setzt nicht ausreichende Anreize für kosteneffiziente und technologie-neutrale Innovationen im Übertragungsnetz sowie digitale und klimafreundliche Lösungen. Daher ist ein regulatorischer Rahmen für innovative Lösungen im Übertragungsnetz erforderlich, der Technologieoffenheit auf dem Weg zur Klimaneutralität fördert. Es besteht die Notwendigkeit, diese Herausforderungen zu adressieren und die Wirtschaftlichkeitslücke von neuen Technologien zu schließen.“

Wir sehen die Bundesregierung in der Pflicht, den Regulierungsrahmen so zu gestalten, dass Innovationen, die oft mit staatlicher Förderung entwickelt wurden, auch in den Stromnetzen angewendet werden. Die Übertragungsnetzbetreiber zu verpflichten, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und zu erwarten, dass sie das Risiko tragen ohne den Nutzen haben, wenn sie Innovationen in den Netzen einsetzen, ist ein Widerspruch. Für zukunftsfähige Stromnetze sind innovative technische Lösungen unverzichtbar.

In diesem Zusammenhang begrüßen wir den umfangreichen Konsultationsprozess des Netzentwicklungsplans, der ermöglicht neue Ideen einzubringen und so die Informationsbasis der Planungen zu verbreitern. Außerdem bietet er die Gelegenheit schon im Vorfeld eine große Akzeptanz für den Netzausbau zu schaffen.

Netzausbau beschleunigen – Innovationen nutzen

Einen schnellen Netzausbau wird es nur geben, wenn die Ängste und Bedenken gegen den Ausbau der einzelnen Streckenabschnitte ausgeräumt werden können. Die Gründe für den Widerstand gegen den Netzausbau sind in der Regel der Umweltschutz und die möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung. Hier punkten Supraleiterkabel, da sie nur sehr schmale Trassen benötigen und Strom emissionsfrei leiten.

In dem zweiten Entwurf des NEPs argumentieren die Übertragungsnetzbetreiber für den Ausbau mit HGÜ:

„Die etablierte Drehstromtechnik (AC-Technologie) ermöglicht eine kostengünstige und effiziente Transformation in hohe Spannungen für den Transport sowie die Bereitstellung vieler Abspannpunkte zur Versorgung von Regionen und Städten bzw. zur Aufnahme von regional erzeugtem Strom. Auf langen Strecken stößt die AC-Technologie allerdings physikalisch an ihre Grenzen.“

Eine besondere Stärke der HGÜ-Technologie liegt in der verlustarmen Übertragung hoher Leistung über lange Distanzen. Würde zur Deckung weiträumiger Transportaufgaben ein reines Drehstromnetz geplant werden, dann wäre ein weitaus großflächigerer Netzausbau nötig, welcher zudem mehr Raum als der DC-Ausbau in Anspruch nehmen würde.“⁸

⁸ Ebd., S. 168

Bislang beschränken sich die Erfahrungen der Übertragungsnetzbetreiber mit HGÜ-Leitungen auf sogenannte „Punkt-zu-Punkt-Verbindungen“⁹. Auch hier ist noch einige Entwicklungsarbeit zu leisten, müssen technische Standards erst entwickelt werden.¹⁰

Stromnetze effizienter gestalten

Es stellt sich also die Frage, warum die Übertragungsnetzbetreiber nicht parallel ein Pilotprojekt zur Standardisierung von DC-Supraleiterkabeln aufsetzen, die Strom nachweislich am effizientesten leiten, da sie keinerlei elektrische Verluste haben und zudem – aufgrund ihrer hohen Stromtragfähigkeit – auch den Flächenverbrauch minimieren. Damit reduzieren sich sowohl die Verlegekosten wie auch der Planungsaufwand. Hinzu kommt, wie bereits erläutert, dass der Strom auch auf einer niedrigeren Spannungsebene transportiert werden kann – ohne die Nachteile konventioneller Technik. Dabei ist allerdings auch zu beachten, dass ein effizienter Stromtransport für die Übertragungsnetzbetreiber gar nicht unbedingt von Vorteil ist:

„Die Wirtschaftlichkeit von langlaufenden Innovationsprojekten wird durch die Regulierungsperiodensystematik stark eingeschränkt. Aufgrund dieser Systematik werden Erträge aus Innovationen eines Netzbetreibers in Länge und Höhe begrenzt. Es ist daher ungewiss, ob sich Effizienzsteigerungen durch Innovationen amortisieren können, denn typischerweise stellen sich im Netzbetrieb Vorteile aus innovativen Lösungen erst mittel- oder langfristig ein. Somit gehen Amortisationsdauern, gerade bei gedeckelten Effizienzgewinnen, häufig über die Regulierungsperiode hinaus. Effizienzgewinne vor Erreichen der Amortisation werden damit anteilig dem Netzkunden gutgebracht, sodass sich solche Innovationsprojekte aus Sicht des Netzbetreibers nicht nur nicht rentieren, sondern finanziell sogar nachteilig sein können. (Fußnote im Text: Diese Problematik wurde bereits 2015 im Evaluierungsbericht der BNetzA identifiziert und mit dem Efficiency-Carry-Over eine Lösungsmöglichkeit aufgezeigt (jedoch nicht umgesetzt).“¹¹

Der Interessenverband Supraleitung fragt, warum die Bundesregierung, die in dem „Arbeitsplan Energieeffizienz“ klar dafür Position bezieht, Energie zu sparen, hier Regularien geschaffen hat, die Effizienzsteigerungen verhindern. Dies steht in klarem Widerspruch zu der Aussage des Bundeswirtschaftsministeriums:

*„Dabei geht es darum, kurzfristig wirksame Maßnahmen zur Energieeinsparung mit strukturellen Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs zu verbinden. **Nur mit dem richtigen regulatorischen Rahmen und wirksamen ökonomischen Anreizen kann eine dauerhafte, nachhaltige Senkung des Energiebedarfs erreicht werden.**“¹²*

⁹ Ebd., S. 176

¹⁰ Ebd., S.176

¹¹ Ebd., S. 190

¹² BMWK, Energiesparen für mehr Unabhängigkeit. Arbeitsplan Energieeffizienz, Berlin 17.5.2022. Hervorhebung von dem ivSupra



In die gleiche Richtung zielt das 8. Energieforschungsprogramm, das hervorhebt, dass Supraleiter „nahezu verlustfrei“¹³ übertragen.

Supraleiterkabel können die Netzverluste, die die Übertragungsnetzbetreiber für 2045 mit 40TWh prognostizieren, halbieren – trotz der notwendigen Kühlung. Würden die Supraleiterkabel in einer Wasserstoff-Pipeline geführt, würde der Kühlaufwand vollständig entfallen. Hier sind substantielle Effizienzgewinne realisierbar.

Volatile erneuerbare Energien sicher einbinden

Der Umbau der Stromversorgung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energiequellen macht einen grundlegenden Um- und Ausbau unserer Stromnetze notwendig. Die Übertragungsnetzbetreiber stellen hierzu fest:

*Mit der kontinuierlich zunehmenden Einspeisung durch Offshore-Windenergieanlagen geht eine entsprechende Zunahme des notwendigen Nord-Süd, Nord-Ost und Nord-West Transportbedarfs einher, um die Energie in die Lastzentren vor allem im Westen und Süden des Landes zu transportieren. Verstärkt wird dieser Effekt durch den beschlossenen Ausstieg aus der Kern- und Kohlekraft und den individuell steigenden Strombedarf je Bundesland. Die resultierende Erzeugungslücke kann durch die zusätzliche Erzeugung aus regenerativen Quellen, insbesondere der Offshore-Windenergie, vermindert werden. Dazu ist jedoch die Netzstruktur des Übertragungsnetzes entsprechend auszulegen.*¹⁴

Durch die Volatilität erneuerbarer Energiequellen steigen die Anforderungen an die Netzschutztechnik. DC-Leistungsschalter für die geplanten 525-kV-Leitungen sind bislang noch in der Entwicklung und werden gerade in ersten Pilotprojekten getestet. Die Übertragungsnetzbetreiber rechnen damit, dass sie in der zweiten Hälfte 2030er zur Verfügung stehen.¹⁵ Dem gegenüber können Supraleiterkabel so ausgelegt werden, dass sie strombegrenzend sind. Dadurch können Investitionen in die Netzschutztechnik minimiert, Netzreserven besser genutzt und die Versorgungssicherheit gewährleistet werden. Zudem ist bei Supraleiterkabeln von einer hohen Lebensdauer auszugehen, da aufgrund der Kühlung keine thermische Alterung stattfindet.

Wirtschaftlichkeit nachhaltig betrachten

Letztlich stehen die Übertragungsnetzbetreiber auch dafür ein, den Netzausbau möglichst wirtschaftlich zu gestalten. Also müssen Planungen auf einer realistischen Basis erstellt werden.

Dies bedeutet zweierlei: Zum einen müssen die Kosten für die Ausbauprojekte wirtschaftlich sein und zum anderen müssen die benötigten Materialien, Anlagen etc. verfügbar sein.

¹³ BMWK, 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung – Forschungsmissionen für die Energiewende, 10/2023, S. 30.

¹⁴ Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf, S.244

¹⁵ Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045, Version 2023, 2. Entwurf, S. 182



Zur Wirtschaftlichkeit haben wir schon in unserem Beitrag zum ersten Entwurf des NEP wie folgt Stellung genommen. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung sollten nicht nur, Material, Baukosten, Betriebskosten etc. eingerechnet werden, sondern auch die Kosten für den Flächenverbrauch aus Umweltsicht, die Eingriffe in die Natur z.B. durch Tiefbauarbeiten sowie die Kosten für Prozesse, ev. Umplanungen und die Verzögerungen des Netzausbaus.

Klar ist, dass innovative Technik erst einmal in der Anschaffung teurer ist als konventionelle Systeme, da noch keine Skaleneffekte die Produktion verbilligen. Entsprechend sind Supraleiterkabel zurzeit noch teurer in der Anschaffung als konventionale Kabelsysteme. Langfristig gesehen, lohnt sich diese Investition jedoch, da die Netzverluste halbiert werden, Einsparungen bei der Netzschutztechnik möglich sind und die Netzplanung erheblich vereinfacht werden könnte. Dass der Regulierungsrahmen so gefasst werden muss, dass auch die Übertragungsnetzbetreiber von dem Einsatz innovativer Technologien und Systeme profitieren ist unseres Erachtens ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Planung der Übertragungsnetze.

Langfristig gesehen werden Supraleiterkabel wesentlich wirtschaftlicher werden als konventionelle Kabelsysteme, die erheblich mehr Rohstoffe verbrauchen. Die Rohstoffpreise sind höchst volatil – Experten prognostizieren aber einen Anstieg insbesondere der Kupferpreise¹⁶, da Kupfer für den Ausbau der Energieinfrastruktur und die Elektromobilität dringend gebraucht würde.

Selbstverständlich fordern die Übertragungsnetzbetreiber auch, dass Verfügbarkeit gegeben ist und sie Planungssicherheit haben, wenn sie über den Einsatz innovativer Technik wie Supraleiterkabel nachdenken. Um entsprechende Kabel vorzuhalten muss aber zuerst ein Pilotprojekt zur Entwicklung der gewünschten Standards stattfinden. Von der Supraleiterbranche kann, ebenso wenig wie von etablierten Unternehmen, erwartet werden, dass sie Kabel produzieren ohne irgendwelche Abnahmegarantien. Da die Planungen aber in der Regel langfristig erfolgen¹⁷, gehen wir davon aus, dass eine fristgerechte Produktion nach Auftragserteilung problemlos möglich ist.

FAZIT – Netze der Zukunft nicht mit der Technik von gestern bauen

Deutschland verfügt als einziges Land Europas über die gesamte Wertschöpfungskette der Supraleitertechnologie – von der Materialherstellung über die Anwendungsentwicklung und Kryotechnik bis hin zur wissenschaftlichen Evaluierung. Hier sind die Bedingungen optimal zur

¹⁶ Z.B. <https://www.wallstreet-online.de/nachricht/17516945-kupfer-spannungsfeld-kurzfristigem-einbruch-mittelfristiger-nachfrage>; oder <https://www.finanzen.net/nachricht/rohstoffe/hoehere-nachfrage-erwartet-aluminium-kupfer-nickel-und-zink-moody-s-hebt-sektorausblick-fuer-metalle-an-eisenerz-als-ausnahme-12295959>, abgerufen am 20.11.2023

¹⁷ Vgl. Ebd., S. 107ff.



Erprobung dieser effizienten Querschnittstechnologie, auch damit die volkswirtschaftlichen Gewinne da erwirtschaftet werden, wo die technische Entwicklung – teils mit staatlichen Fördergeldern – stattgefunden hat. Die Vorteile der Supraleiterkabel sind offensichtlich und decken sich mit den gesellschaftlichen Zielen, energieeffizient zu wirtschaften, Rohstoffe zu sparen und die Umwelt zu schonen.

Spätestens jetzt ist der richtige Moment ein Pilotprojekt für die Erprobung von Supraleiterkabeln im Übertragungsnetz zu starten. Damit wäre sichergestellt, dass Supraleiterkabel eingesetzt werden können, wenn die Platzverhältnisse und Umweltauflage dies dringend erfordern. Erste solche Fälle sind schon abzusehen. Ein Beispiel hierfür ist die Anlandung des Offshore-Windstroms durch das UNESCO Weltnaturerbe Wattenmeer. Hierfür ist nur ein begrenzter Korridor freigegeben – auch bei der Weiterführung des Windstroms an Land ist es nur eine Frage der Zeit, wann es zu Platzproblemen kommt.

Bei dem Beschluss, dass die Erdverkabelung Vorrang vor dem Bau von Freileitungen hat, gab es bei den Übertragungsnetzbetreibern zuerst große Vorbehalte. Auch hier sorgte die Anpassung des Regulierungsrahmens dafür, dass die Erdverkabelung zur Regel statt zur Ausnahme wurde. Supraleiterkabel schaffen

- mehr Akzeptanz für Netzausbauprojekte, da sie wenig Platz benötigen und Strom praktisch ohne Verluste und emissionsfrei transportieren
- steigern die Effizienz der Übertragungsnetze
- sparen Rohstoffe
- sind durch ihre inhärente strombegrenzenden Eigenschaften optimal für die Einbindung volatiler erneuerbarer Energiequellen in das Übertragungsnetz

Entsprechend muss der Regulierungsrahmen auch jetzt angepasst werden, so dass Innovationen Eingang in die Stromnetze finden und wir die Stromnetze von morgen nicht mit der Technik von gestern bauen.