

IEAN



© fotopro - Fotolia.com

Second Opinion betr. des Technischen Berichtes: Netzverträglichkeit von Erdkabeln im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in Oberösterreich

Im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung

Projekt Nr.: 2018-42
November 2018



ELEKTRISCHE
ANLAGEN & NETZE
TU GRAZ

TU Graz
Institut für Elektrische Anlagen und Netze
Inffeldgasse 18/1
8010 Graz
Austria

Institutsvorstand
Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr. Robert Schürhuber

Projektleiter
Em. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert

Wissenschaftliche Ausarbeitung
Em. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert

November 2018

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung und Umfang der Untersuchungen	1
1.1	Veranlassung.....	1
1.2	Umfang der Untersuchungen.....	1
1.3	Zusammenstellung der verwendeten Unterlagen	1
2	Detailanalyse des Technischen Berichtes	2
2.1	Kap. 1 – Zusammenfassung	2
2.2	Kap. 2 – Zielsetzung und Grundlagen	2
2.3	Kap. 3 – Allgemeines über Betrieb und Betriebsarten von 110- kV-Netzen.....	3
2.4	Kap. 4 – Berechnung des kapazitiven Erdschlussstroms	4
2.5	Kap. 5 – Betriebsweise gelöschtes Netz: Löschgrenze	5
2.6	Kap. 6 – Erdungsanlagen	6
2.7	Kap. 7 – Auswirkung der Teilnetzbildung entsprechend Masterplan im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in OÖ auf die Netzverträglichkeit von 110-kV-Erdkabeln	7
2.8	Kap. 8 – Spannungsqualität bei Versorgung aus einem 110-kV-Netz mit der Betriebsart „starre Erdung“	8

1 Veranlassung und Umfang der Untersuchungen

1.1 Veranlassung

Im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung, Kärntnerstraße 10-12, 4021 Linz vom November 2018 erstellt das Institut für Elektrische Anlagen und Netze der Technischen Universität Graz ein Gutachten über den vorgelegten Technischen Bericht: Netzverträglichkeit von Erdkabeln im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in Oberösterreich, welcher von den Herren Dipl.-Ing. Dr. Andreas Abart (Netz OÖ GmbH), Dipl.-Ing. Helmut Köpplmayr (Linz Netz GmbH), Dipl.-Ing. Gernot Dobetsberger (Netz OÖ GmbH), Ing. Bernhard Gahleitner (Netz OÖ GmbH), Ing. Klaus Wolkerstorfer pMSc (Netz OÖ GmbH), Ing. Wolfgang Leitner (Netz OÖ GmbH), und Ing. Walter Niederhuemer (Linz Netz GmbH) verfasst wurde [1].

Die Netz OÖ GmbH und die Linz Netz GmbH haben – in Anbetracht der Tragweite der mit dem Bauprojekt verbundenen Investitionen und der Auswirkungen auf die Wirtschaft und Umweltsituation des Landes – entschieden, den Technischen Bericht extern durch das Institut für Elektrische Anlagen und Netze der Technischen Universität Graz im Sinne einer "Second Opinion" begutachten zu lassen.

Als Kernpunkt der Untersuchung geht es um die technische Systemverträglichkeit („Netzverträglichkeit“) von längeren Erdkabelleitungen beim Netzausbau des oberösterreichischen 110-kV-Netzes. Unter Systemverträglichkeit wird in diesem Zusammenhang die Einhaltung der sicherheitsrelevanten Vorschriften und Normen sowie die Handhabbarkeit des operativen Betriebes, speziell bei Störungen und die weitestgehende Reduktion von Beeinträchtigungen von Verbrauchern (Netzkunden) im Störungsgeschehen verstanden.

1.2 Umfang der Untersuchungen

Der Technische Bericht: „Netzverträglichkeit von Erdkabeln im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in Oberösterreich“ in der letzten Fassung vom 24. November 2018 stellt im vorliegenden Zusammenhang eine für das Amt der Oö. Landesregierung vorgesehene Sachverhaltsdarstellung dar.

Seitens der Technischen Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen und Netze, wird der Technische Bericht im Sinne einer Second Opinion kapitelweise nach folgenden Gesichtspunkten analysiert:

- Aufgaben- (Frage)stellung
- Methodik der Analyse bzw. Lösungsmethodik
- Eingangsdaten
- Berechnung
- Getroffene / abgeleitete Aussagen

Diese Analyse ist im Kapitel 2 („Detailanalyse des Technischen Berichtes“) wiedergegeben.

Bei den Betrachtungen wird auf den **Stand der Technik** abgestellt.

1.3 Zusammenstellung der verwendeten Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden dem Institut für Elektrische Anlagen und Netze vom Amt der Oberösterreich Landesregierung übergeben:

[1] Technischer Bericht: Netzverträglichkeit von Erdkabeln im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in Oberösterreich in der Fassung vom 24.11.2018

[2] Stromnetz-Masterplan Oberösterreich 2026 (APG, LSN, Netz OÖ 2016)

2 Detailanalyse des Technischen Berichtes

2.1 Kap. 1 – Zusammenfassung

Im Technischen Bericht werden im Kapitel 1 („Zusammenfassung“) die aus Sicht der Verfasser wichtigsten Punkte der nachfolgenden Kapitel (Kapitel 2 bis Kapitel 8) in komprimierter Form wiedergegeben.

- Es wurden seitens des Gutachters keine Anhaltspunkte gefunden, wonach Daten selektiv ausgewählt oder unterdrückt worden wären und damit auf das Ergebnis der Beurteilung Einfluss genommen worden wäre.
- Für die einzelnen Abschnitte des technischen Berichtes wird festgehalten, dass die betreffenden Aufgaben und Fragestellungen, die jeweilige Methodik der Analyse, die Eingangsdaten und Berechnungen und schlussendlich die daraus getroffenen Aussagen korrekt und widerspruchsfrei sind.

2.2 Kap. 2 – Zielsetzung und Grundlagen

Im Technischen Bericht wird im Kapitel 2 („Zielsetzung und Grundlagen“) der Ausgangspunkt für den weiteren erforderlichen Netzausbau in Oberösterreich dargestellt, nämlich die Lastentwicklung aufgrund der zunehmenden Einsparung elektrischer Energie in Wirtschaftsprozessen. Durch die höheren Transportanforderungen hinsichtlich der benötigten Energiemengen bzw. die spitzenlastbedingten Erfordernisse einer höheren Transportkapazität wurden die erforderlichen Ausbaumaßnahmen im Stromnetz-Masterplan OÖ 2026 [2] bereits festgestellt. In vielen Fällen ist durch die erhöhten Anforderungen an die transportierbare Leistung bzw. die transportierten Energiemengen sowie die Forderung nach erhöhter Versorgungssicherheit die Errichtung neuer 110-kV-Leitungsverbindungen erforderlich.

In der bisherigen Praxis werden für kurze städtische Leitungsverbindungen oder für Leitungsverbindungen in ökologisch sensiblen Bereichen Kabel eingesetzt; bei längeren Strecken sind Freileitungen das Mittel der Wahl. Es erfolgt in diesem Kapitel auch eine Abgrenzung der im vorliegenden Technischen Bericht abgehandelten Themen betreffend die Einschränkung der Systemverfügbarkeit durch längere Reparaturdauern, Einfluss der kürzeren Lebensdauer auf die Life Cycle Costs sowie das Thema der Investitionskosten, welche hier nicht weiterverfolgt werden.

- Die Aufgabenstellung bzw. Zielsetzung des vorliegenden Technischen Berichts ist eine Fokussierung auf die grundlegenden technischen Grenzen des Leitungsausbaus unter technischen System-Betriebsaspekten von gelöschten Netzen.
- Nicht-Thema der Fokussierung sind Verfügbarkeitsprobleme während des Betriebs, Life Cycle Costs und Investitionskosten.
- Damit ist der klare technische Fokus des Berichts eindeutig ausgewiesen.

2.3 Kap. 3 – Allgemeines über Betrieb und Betriebsarten von 110-kV-Netzen

Die zuverlässige Versorgung mit elektrischer Leistung und Energie wird durch Störungen beeinträchtigt, welche verschiedene Ursachen haben können. Der größte Teil der elektrischen Störungen wird durch Isolationsverlust hervorgerufen. Diese werden wie folgt klassifiziert:

- mehrpolige Fehler
- einpolige Fehler

Mehrpole Fehler („Kurzschlüsse“) sind durch große (Kurzschluss-)Ströme und massive Spannungszusammenbrüche charakterisiert, welche sich im Allgemeinen negativ auf die Verbraucher auswirken. Da bei 110-kV-Leitungen in der Ausführungsform Freileitung die Abstände zwischen den aktiven Leitern relativ groß sind, sind diese stets unangenehmen Fehler - verglichen mit den einpoligen Fehlern - relativ selten. Ähnliches gilt für die Ausführungsform 110-kV-Erdkabel, bei denen die einzelnen Leiter voneinander getrennt und jeweils von einem geerdeten Schirm umrandet sind, welcher ein Weiterbrennen eines allfälligen Lichtbogens verhindert.

Einpolige Fehler, also Isolationsverluste zwischen einem „heißen“ Leiter und Erde („Masse“) sind in 110-kV-Netzen die häufigste Ursache für eine Netzstörung. In welcher Form sich diese Fehler allerdings auf die Versorgungsspannung der Kunden in den unterlagerten Mittel- und Niederspannungsnetzen auswirken, hängt davon ab, ob und - wenn ja - in welcher Form die sogenannten Sternpunkte des Netzes an den Transformatoren mit Erde verbunden sind. Hier gibt es grundsätzlich drei Arten der sogenannten Sternpunktsbehandlung:

1. **Starre Erdung:** Wenn die Sternpunkte des Netzes an den Transformatoren in den Umspannwerken direkt mit Erde („Masse“) verbunden und somit unmittelbar geerdet sind, kommt es durch den Isolationsverlust und damit dem Schließen des Kurzschlussstromkreises an irgendeiner Stelle des Netzes, wie beim mehrpoligen Fehlers zu großen Kurzschlussströmen und in der Folge zu massiven Spannungszusammenbrüchen. Da sich diese Spannungseinbrüche im Allgemeinen negativ auf die Verbraucher auswirken, vermeidet man die starre Erdung im Interesse einer unterbrechungsfreien Energieversorgung.
2. **Isolierter Sternpunkt:** Wenn die Sternpunkte des Netzes an den Transformatoren in den Umspannwerken nicht mit Erde („Masse“) verbunden, gibt es keinen direkten Kurzschlussstrompfad mehr. Trotzdem fließt allerdings noch ein Fehlerstrom - bei Freileitungen durch Luft (!) bzw. bei Kabeln über das Dielektrikum (Isolation) (!) - in Form von sogenannten kapazitiven (Teil)Strömen von Erde („Masse“) her in das ansonsten hochwertig galvanisch isolierte Leitungssystem zurück. Je länger die Leitungen sind, bzw. wenn die Leiterabstände gegen Erde wie im Falle von Erdkabeln deutlich geringer werden, steigen diese Teilströme massiv an, und es ergeben sich in Summe durchaus beträchtliche Fehlerstromwerte. Man bezeichnet diesen Strom als den „kapazitiven Erdschlussstrom“
3. **Gelöschtes Netz:** Durch den Einbau mindestens einer sogenannten Löschspule („Petersenspule“) zwischen den Sternpunkten des Netzes an den Transformatoren wird ein zusätzlicher Strompfad für den Erdfehlerstrom geschaffen, und auf dieser Art entsteht eine zusätzliche Stromkomponente. Diese ist in der Lage, den kapazitiven Erdschlussstrom zu reduzieren. Daher spricht man in diesem Falle von „Erdschlusslöschstrom“. Die erforderliche Größe dieser Stromkomponente orientiert sich am kapazitiven Erdschlussstrom und wird als Erdschlusslöschstrombedarf bezeichnet.

Dadurch, dass in diesem Falle an der Fehlerstelle - vereinfacht gesprochen - de facto kein nennenswerter Strom mehr fließt, treten auch keine massiven Spannungszusammenbrüche bei den Verbrauchern mehr auf, und für die Verbraucher verläuft solch ein einpoliger Fehler fast immer ohne negative Auswirkungen. Ferner hat diese als „Erdschlusslöschung“ beschriebene Methode den Vorteil, dass den zum Beispiel durch Verunreinigungen an Isolatoren entstehenden Lichtbögen der Strom entzogen wird, woraufhin diese von selbst ausgehen und ein Erdschluss als der häufigste aller Netzfehler ohne einen Eingriff in das System sehr rasch und von selbst verschwindet.

- Im Gegensatz zu anderen Arten der Sternpunktsbehandlung (starre Erdung, isolierter Sternpunkt) verlaufen in gelöschten Netzen durch das Verfahren der Erdschlusslöschung mit der Einspeisung eines zusätzlichen Löschstroms die am häufigsten auftretenden Fehler, die einpoligen Fehler, ohne Beeinträchtigung der Verbraucher.
- In Freileitungsnetzen verschwinden Lichtbogen-Erdschlüsse in der Regel durch den automatischen Stromentzug ohne Eingriff in das System
- Die Fragestellung, die Analysemethodik und die Fakten die Zusammenhänge sind in Kapitel 3 klar formuliert und korrekt dargestellt.

2.4 Kap. 4 – Berechnung des kapazitiven Erdschlussstroms

Ausgehend von einer kurzen Schilderung des physikalischen Charakters einer Kapazität (Größe der Flächen, deren Abstand und Materialeigenschaften) wird zu Beginn dieses Kapitels die grundlegende Formel für den Erdschlusslöschbedarf klar ausgewiesen. Dieser gibt den im Erdschlussfall durch die betreffende Leitung in das System eingespeisten kapazitiven Strom an, an der sich der bei dem Verfahren der Erdschlusslöschung durch die Petersenspule(n) einzuspeisende Löschstrom orientieren muss. Die bestimmenden Faktoren sind: Leiter-Erde-Kapazitäten C_E , Frequenz f und die Systembemessungsspannung U_B .

In den Abschnitten 4.1 und 4.2 werden die spezifischen Erdschlussströme von Kabeln denjenigen von Freileitungen gegenübergestellt. Sowohl die angegebenen spezifischen Kapazitäten in $\mu\text{F}/\text{km}$ als auch die für die praktische Handhabung vorteilhaftere Angabe des Erdschlusslöschbedarfes pro A/km Trassenlänge unter der Worst-case-Annahme einer Systembemessungsspannung von 123 kV sind korrekt. Die Annahme dieser Betriebsspannung ist deshalb gerechtfertigt, da das oberösterreichische 110-kV-Netz wegen der erhöhten Anforderungen an die Transportleistung bei gleichzeitiger Verlustminimierung mit im Rahmen der Isolationskoordination zulässigen erhöhten Spannungspegeln betrieben wird.

In Abschnitt 4.3 werden, daraus abgeleitet, die Anforderungen an den Erdschlusslöschbedarf pro km Doppelsystem Kabel demjenigen pro km Doppelsystem Freileitung gegenübergestellt. Daraus ergibt sich der praktikable Längenfaktor für Doppelsysteme, gemäß welchem 1 km Kabel den gleichen Erdschlusslöschstrombedarf wie 58 km Freileitung erfordern.

- Die Herleitung der physikalischen Zusammenhänge von Leitungstechnologie und Leitungsaufbau und deren Auswirkung auf die Leiter-Erde-Kapazitäten sowie die Auswirkung auf den Erdschlusslöschbedarf eines Doppelsystems pro Kilometer sind technisch und numerisch korrekt erfolgt.
- Die Schlussfolgerung betreffend die Gegenüberstellung des kilometrischen Erdschlusslöschstrombedarfs von Kabel bzw. Freileitung für Doppelsysteme ist einwandfrei.
- Somit sind die Aufgabenstellung, Berechnungsformeln, Eingangsdaten für die Berechnungen und die getroffenen Aussagen klar ausgewiesen und korrekt dargestellt.

2.5 Kap. 5 – Betriebsweise gelöschtes Netz: Löschgrenze

In Abschnitt 5.1 („Physikalische Löschgrenze“) wird die physikalische Löschgrenze über den maximalen Erdschlussstrom definiert, bei dem in Freileitungsnetzen freibrennende Lichtbögen verlöschen. Die wesentlichen nach dem heutigen Stand der Technik bestimmenden Elemente (Wattreststrom, Verstimmungsstrom, Oberschwingungsstrom) werden komprimiert dargestellt. Die für die oberösterreichischen Netze repräsentativen Werte für diese Parameter sind angegeben und entsprechen den üblichen Betriebswerten.

Der physikalischen Löschgrenze gegenübergestellt werden Grenzwerte für den Erdschlussreststrom, getrennt nach Österreich und - wegen der Vergleichbarkeit der Standards - Deutschland. Da der Erdschluss-Reststrom im Fehlerfall zu möglicherweise gefährlichen Potenzialanhebungen im Umfeld der Fehlerstelle führt, wird darauf bei energierechtlichen Genehmigungen dezidiert Bezug genommen, weshalb hier der österreichische Rechtsrahmen maßgeblich ist. Die bezüglich des Erdschlussreststroms scheinbar etwas großzügigere deutsche Interpretation (zulässiger Reststrom ... 200 A statt 130 A) enthält aber zusätzliche Parameter (Oberschwingungsströme) sowie speziell im oberösterreichischen Fall anzuwendende Restriktionen wie die Einbeziehung der Netztopologie.

Kap. 5.1

- Die Basis für die Herleitung der Größe des Erdschlussreststroms und seiner Komponenten ist korrekt.
- Die angegebenen Größenordnungen dieser Komponenten entsprechen der Netzrealität.
- Die Darstellung der energierechtlichen Situation bezüglich der Betriebsgenehmigung und der Vorschriftenlage beschreibt den österreichischen Rechtsrahmen und stellt diesem die deutsche Normenlage gegenüber.
- Der Bericht zeigt die klaren Restriktionen auf, welche in Deutschland bei der Anwendung der in Deutschland zulässigen 200-Ampere-Reststrom Grenze zu beachten sind.
- Die aus diesen Grundlagen abgeleiteten Aussagen sind korrekt.

In Abschnitt 5.2 („Netzgröße“) wird eine allgemeine Formel für die maximale kilometrische Netzgröße angegeben, welche sich aus den spezifischen Löschrömenbeiträgen für den maximalen kapazitiven Erdschlussstrom $I_{CE,max}$ ergibt. Der Planungsrichtwert für diesen maßgebenden Strom wird im nachfolgenden Abschnitt bestimmt.

Kap. 5.2

- Die Formel zur kilometrischen Aufteilung des maximalen kapazitiven Erdschlussstroms auf Kabel und Freileitungen ist korrekt.

In Abschnitt 5.3 („Maximale Netzgrößen in Österreich und Deutschland aufgrund der Normen zur Vermeidung unzulässiger Beeinflussungen“) wird die österreichische Vorschrift ÖVE-B1/1976 vorgestellt, die festhält, dass ab einem gewissen Schwellwert des Erdschlussreststroms die Prüfung auf Gefährdung und Störungsmöglichkeiten von Fernmeldeanlagen durch Wechselstromanlagen notwendig ist. Im Fall eines 110-kV-Netzes beträgt der Schwellwert für den kritischen Erdschluss-Reststrom in der Regel 132 A.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Bemerkung, dass in Einzelfällen für den Erdschluss-Reststrom höhere Werte zugelassen werden können, wenn die Löschrömenfähigkeit des Netzes nachgewiesen wird.

Bei der Bestimmung dieses Wertes wurde gemäß der in Abschnitt 5.1 angegebenen Formel für die Oberschwingungsstromanteile wegen des Fehlens einer approbierten Berechnungsmöglichkeit auf die in der

Europanorm ÖVE/ÖNORM EN 50522 („Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“) In Tabelle 1 („Maßgebende Ströme für die Bemessung von Erdungsanlagen“) als zulässig angegebene Abschätzung zurückgegriffen, bei welcher im Falle eines kompensierten Netzes die generelle Annahme für den Erdschluss-Reststrom in Höhe von 10 % I_{CE} verwendet werden kann.

Mittels dieses Berechnungsschrittes und unter Anwendung der üblichen Werte für Dämpfung und Verstimmung ergibt sich eine Auflösung der Formel für den Reststrom (normgemäß: ohne Berücksichtigung der Oberschwingungen) nach dem zu bestimmenden kapazitiven Erdschlussstrom ein maximaler kapazitiver Erdschlussstrom $I_{CE,max}$ von 1320 A. Wenn man allerdings - was nicht in der österreichischen Vorschrift ÖVE-B1/1976 vorgesehen ist) zusätzlich die Oberschwingungen berücksichtigt, würde dieser Wert sogar auf $I_{CE,max} = 1198$ A sinken.

Eine ergänzende, anschließende Analyse der maximalen Netzgröße laut der deutschen Norm DIN VDE 0845-6-2 für die Einhaltung der Löschgrenze mit der gleichen Methodologie liefert sogar einen geringeren maximalen kapazitiven Erdschlussstrom $I_{CE,max}$ von 1198 A. Der Grund dafür liegt darin, dass in der deutschen Norm auch die Oberschwingungen zu berücksichtigen sind.

Abschließend in Kapitel 5.3 wird die hypothetisch mögliche Anwendung der in Deutschland fallweise zulässigen Erhöhung des Reststrom-Planungsrechtwertes auf 200 A auf die Strecke Wegscheid – Partenstein – Rohrbach – Bad Leonfelden/Langbruck – Freistadt – Friensdorf bzw. das Teilnetz, welche diese Strecke enthält, betrachtet. Der Gutachter stimmt mit den Autoren des Berichtes darin überein, dass es sich bei der geplanten Betriebsweise um ein weitläufiges Strahlennetz handelt, bei dem aus Sicherheitsgründen laut der deutschen Norm der 132-A-Planungsrichtwert (unter Einbeziehung der Oberschwingungen) einzuhalten ist.

Kap. 5.3

- **Die Überschreitung des in der österreichischen Vorschrift ÖVE-B1/1976 ausgewiesenen Schwellwertes von 132 A ist in Einzelfällen möglich, sofern die Löschfähigkeit nachgewiesen wird.**
- **Unter Anwendung der üblichen Werte für Dämpfung und Verstimmung ergibt sich bei Anwendung der österreichischen Vorschriften (normgemäß: ohne Berücksichtigung der Oberschwingungen) ein maximaler kapazitiver Erdschlussstrom $I_{CE,max}$ von 1320 A.**
- **Wenn man in der österreichischen Vorschrift zusätzlich die Oberschwingungen berücksichtigte, würde dieser Wert sogar dieser Wert auf $I_{CE,max} = 1198$ A sinken.**
- **Die Anwendung der deutschen Netzvorschriften liefert einen im Vergleich zur österreichischen Vorschrift geringeren maximalen kapazitiven Erdschlussstrom $I_{CE,max}$ von 1198 A.**
- **Einer hypothetischen Anwendung des im deutschen Regelwerk angeführten Reststrom-Planungsrechtwertes von 200 A steht kann bei der geplanten Strecke Wegscheid - Rohrbach – Friensdorf der Tatbestand entgegen, dass es sich hier um ein weitläufiges Strahlennetz handelt.**
- **Aufgabenstellung, Methodik der Analyse, Eingangsdaten, Berechnungen und getroffene Aussagen sind korrekt.**

2.6 Kap. 6 – Erdungsanlagen

Laut der aktuell gültigen Norm für Freileitungsmasten (ÖVE/ÖNORM EN 50341) ist eine maximale Erdungsspannung von 150 V zulässig. Entsprechend dem Ohm'schen Gesetz sind die Erdungswiderstände darauf hin durch bauliche Maßnahmen im gesamten Netz so eingestellt worden, dass der Erdschluss-Reststrom diesen Grenzwert von 132 A nicht überschreitet.

Aufgrund der Begrenzung des Erdschluss-Reststromes zur Einhaltung der Vorschrift ÖVE-B1/1976 wurde bis heute als Planungsrichtwert für den maximalen Erdschluss-Reststrom im Netzbetrieb der Schwellwert von 132 A

festgelegt. Das hat in der Folge dazu geführt, dass u.a. die der Personensicherheit dienenden Erdungsanlagen aller Freileitungsmastes auf diesen Wert ausgelegt wurden und die in der Vorschrift ÖVE-B1/1976 angeführte Löschgrenze als Planungsrichtwert zu einem De facto-Standard wurde.

- Bis heute wurde der maximale Erdschluss-Reststrom als Planungsrichtwert für sicherheitsrelevante Auslegungen bei Hochspannungsanlagen verwendet.
- Die bautechnische Auslegung der Masten und ihrer Erdungen stellen für einen maximalen Erdschluss-Reststrom von 132 A die Einhaltung der in den Normen geforderten Personensicherheit sicher.
- Die hinsichtlich der Verwendung des 132-A-Wertes als Planungsrichtwert getroffenen Aussagen sind korrekt.

2.7 Kap. 7 – Auswirkung der Teilnetzbildung entsprechend Masterplan im gelöscht betriebenen 110-kV-Netz in OÖ auf die Netzverträglichkeit von 110-kV-Erdkabeln

Wegen der zeitlichen Priorität fokussiert der Technische Bericht auf das östliche 110 kV-Teilnetz in Oberösterreich, welches in weitere Teilnetze unterteilt werden soll und stellt für dieses Teilnetz die dazu notwendigen Entwicklungsschritte in zwei Entwicklungspfaden da. Variante 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Netzentwicklung unter Zugrundelegung eines Szenarios, welches nur kurze Kabelstrecken im Raum Linz vorsieht, und stellt diese Entwicklung tabellarisch für den Zeitraum von 2018 bis > 2026 vor. Variante 2 ist eine Erweiterung der Variante 1, nämlich um zwei längere Kabelstrecken im Bereich des Mühlviertels (Rohrbach - Langbruck und Langbruck - Rheinbach). Die Bereiche der jeweiligen Teilnetze sind in einer Abbildung klar gegeneinander abgegrenzt.

Für beide Varianten wird das jeweilige Erfordernis hinsichtlich des Erdschlusslöschbedarfes aufgezeigt. Dazu wird nicht nur auf den Erdschlusslöschbedarf der auszubauenden Leitungsstrecken, sondern auch auf die zusätzlichen Beiträge bei allfälligen, netzsituationsbedingten Zuschaltungen von Leitungen aus angrenzenden Teilnetzen anderer 110-kV-Netzbetreiber abgestellt, sofern diese Zuschaltungen von längerer Dauer (z.B. umbaubedingte längerfristige Schaltzustände) sind.

Als Maßstab für die Netzverträglichkeit der Systemerweiterung durch Kabelstrecken wird der maximale kapazitive Erdschlussstrom $I_{CE,max}$ gemäß den obigen Berechnungen laut der österreichischen Vorschrift ÖVE-B1/1976 ($I_{CE,max} = 1198$ A), aber auch alternativ die deutsche Norm DIN VDE 0845-6-2 (1976 ($I_{CE,max} = 1899$ A) Bezug genommen.

Dabei zeigt sich, dass beim Ausbaupfad gemäß Variante 1 die Systemverträglichkeit unter den oben angeführten Randbedingungen stets gegeben ist, wohingegen die Systemverträglichkeit beim Ausbaupfad gemäß Variante 2 zum Zeitpunkt des Ausbaus der Leitungen im Mühlviertel mit Kabeltechnologie (ab dem Jahr 2022) nicht mehr gegeben ist.

Dieses Kapitel schließt mit dem Hinweis auf einen 220-kV-Ringsschluss (wegredundante 220-kV-Verbindung zwischen UW Wegscheid und UW Pichling) ab, der die Situation zwar wegen des Entfalls der Zusammenschaltung von Teilnetzen entlastet, aber an der Grundaussage nichts ändert.

- Die Beschränkung der Analyse auf das östliche der beiden 110-kV-Teilnetze ist sinnvoll.
- Die beiden Varianten (kurze Kabelstrecken im Raum Linz oder kurze Kabelstrecken im Raum Linz zzgl. längere Kabelstrecken im Bereich des Mühlviertels) werden in Tabellenform übersichtlich gegenübergestellt und auf ihre Systemverträglichkeit im Hinblick auf die Erdschluss-Restströme korrekt bewertet.
- Variante 1 (kurze Kabelstrecken im Raum Linz) stellt die Systemverträglichkeit sicher.
- Variante 2 (kurze Kabelstrecken im Raum Linz zzgl. längere Kabelstrecken im Bereich des Mühlviertels) führt mit Errichtung dieser Kabelstrecken zu Grenzwertüberschreitungen und ist damit nicht netzverträglich.
- Die Methodik einer Zeitreihenanalyse für die Entwicklung des Erdschlusslöschbedarfes für die verschiedenen Löschbezirke einschließlich deren späterer Fusion ist übersichtlich und zielführend.
- Die Datenlage ist nachvollziehbar.
- Das zusammenfassende Fazit betreffend die Auswirkung der Teilnetzbildung auf die Einsatzmöglichkeiten von Kabeln im 110-kV-Netz ist schlüssig.

2.8 Kap. 8 – Spannungsqualität bei Versorgung aus einem 110-kV-Netz mit der Betriebsart „starre Erdung“

Oft wird in der öffentlichen Diskussion auf die Situation des deutschen Nachbarlandes Bayern verwiesen. Dort werden 110-kV-Netze in der Betriebsart „starrs Netz“ betrieben: In einem solchen Netz ist die Löschgrenze nicht maßgeblich, da es sich nicht um ein gelöschtes Netz handelt, aber es bilden sich sofort bei Eintritt eines einpoligen Fehlers sehr hohe Fehlerströme im Bereich von 1000-5000 A aus, welche zu massiven Spannungseinsenkungen bei den Verbrauchern führen und zusätzlich wegen der Fehlerstromhöhe eine sofortige selektive Abschaltung erforderlich machen. Auf diese Spannungseinsenkungen stellt das Kapitel 8 ab.

Aufgrund der seitens der Netz OÖ GmbH und Linz Netz GmbH vorgelegten Störstatistik der oberösterreichischen 110-kV-Netze kann gefolgert werden, dass es bei einer Umstellung von der Betriebsart „gelöschtes Netz“ auf die Betriebsart „starre Erdung“ zu einer massiven Vervielfachung der für Netz Verbraucher spürbaren Spannungsstörungen kommt, welche in der Folge für diese zu zum Teil hohen Investitionen zur Verminderung der Schadensauswirkung führen oder somit volkswirtschaftlich hohe Folgekosten bedeuten. Die dazu zwingend erforderlichen Investitionen in die Netztechnik führen somit zu keiner Verbesserung der Versorgungssituation der Verbraucher, sondern zu einer eindeutigen Verschlechterung und sind damit nicht ineffektiv.

- Die Lösungsmethode, einen statistik-basierten Vergleich der Auswirkungen der Umstellung des Netzbetriebes auf die Betriebsart „Starr geerdetes Netz“ auf Netzverbraucher durchzuführen, ist zielführend und korrekt.
- Die vorgestellte Jahresstatistik ist nach den Erfahrungen des Gutachters plausibel.
- Die daraus abgeleitete Aussage, nämlich, dass ein Abgehen von der Betriebsart „gelöschtes Netz“ zu der ebenfalls praktizierten Betriebsart „starrs Netz“ zu einer massiven Verschlechterung der Spannungs- und Versorgungsqualität aller angeschlossenen Verbraucher führt, ist korrekt.

Graz, den 23. 11. 2018

Univ.-Prof. DDr. R. Schürhuber