

SYSTEMKONZEPTE VON DC-VERTEILNETZEN – ERHÖHUNG DER ANSCHLUSSLEISTUNG VON WINDPARKS

Matthias NILGES¹, Sebastian KRAHMER¹, Robert ADAM¹, Karsten BACKHAUS¹, Christian HILDMANN¹, Stephan RUPP², Peter SCHEGNER¹

Einleitung

Im Zuge der Energiewende sollen zukünftig in Deutschland viele große Kraftwerke abgeschaltet werden. Damit einhergehend verringert sich ein erheblicher Anteil von Betriebsmitteln, die netzstabilisierende Systemdienstleistungen wie Momentanreserve, Primär- und Sekundärregelleistung und Blindleistung bereitstellen. Um zukünftig die Primär- und Sekundärregelleistung zur Verfügung zu stellen, existieren bereits mehrere Strategien wie z. B. die Verwendung einer STATCOM mit einem Supercap. Diese stützen jedoch lediglich das Netz dynamisch, ersetzen aber die wegfallenden Kraftwerke als netzbildende Elemente nicht. In ersten Projektansätzen werden als Alternative hierzu wasserstoffbasierte Kraftwerke untersucht [1]. Diese bestehen aus Elektrolyseanlagen und Brennstoffzellen, um so den dynamischen Leistungsbedarf im Netz folgen zu können. Auch hier wird die Momentan- und Minutenreserve durch Energiespeicher bereitgestellt. Darüber hinaus bleibt die Frage nach schwarzstartfähigen Kraftwerkssystemen von diesen Ansätzen unbeantwortet.

Im Rahmen des Forschungsprojekts AC2DC wird ein vergleichbarer Ansatz zum Anschluss von neuen und bestehenden Windparks untersucht [2]. Hierbei wird gemäß Abbildung 1 der Windpark vollständig in einem DC-Netz betrieben. Die Leistung der einzelnen Windenergieanlagen wird im Niederspannungs(NS)-DC-Zwischenkreis der Maschinenumrichter abgegriffen und einer Sammelschiene zugeführt. Dort wird diese über einen DC/DC-Wandler auf Mittelspannung (MS) transformiert und erst am Netzanschlusspunkt über einen Stromrichter dem AC-Netz zugeführt. Werden im DC-Netz zusätzliche Speichersysteme angeschlossen (Wasserstoff, Batterie, Supercap) kann die Kopfstation sogar ein vollständiges, schwarzstartfähiges Kraftwerk nachbilden. Um das Konzept nicht nur für Neubauten, sondern auch für Bestandsanlagen einzusetzen, sollen insbesondere die bestehenden AC-Kabelstrecken weiterverwendet werden. Theoretische Voruntersuchungen zu den Belastungsgrenzen und der maximal übertragbaren DC-Leistung über die AC-Kabel werden mit labortechnischen Untersuchungen abgeglichen. Dazu werden entsprechende Messergebnisse zur Strom- und Spannungsbelastbarkeit von AC-Kabeln inklusive der Garnituren unter DC-Beanspruchung vorgestellt. Des Weiteren werden Systemkonzepte zur Umnutzung bestehender AC-Kabelstrecken unter Berücksichtigung technischer und physikalischer Rahmenbedingungen erläutert.

Strom- und Spannungsbelastbarkeit

Die Strombelastbarkeit von Kabeln wird maßgeblich durch die im Kabel umgesetzte Verlustleistung bestimmt. Aufgrund des Wechselfeldes und der damit einhergehenden Feldverdrängungseffekte nimmt der Leitungswiderstand tendenziell mit der Frequenz zu. Daher wäre zu erwarten, dass sich bei Betrieb von AC-Kabeln mit Gleichspannung die Verluste verringern. Dem wirkt entgegen, dass dem Gleichstrom durch das leistungselektronische Schalten auch ein höherfrequenter Wechselanteil überlagert ist. Untersuchungen zeigen, dass jedoch selbst mit überlagertem Wechselanteil die Strombelastbarkeit leicht gesteigert wird. Diese bewegt sich jedoch im einstelligen Prozentbereich. Bei den Garnituren ist vor allem der Einfluss des Gleichstroms auf die Kontakteigenschaften an den Verbindungsstellen von Bedeutung. Um negative Auswirkungen durch die DC-Belastung auszuschließen, wurden entsprechende Langzeitversuche unternommen und dauern noch an. Die derzeitigen Ergebnisse (nach ca. 2400 h) deuten darauf hin, dass sich die Kontakteigenschaften analog zu einer Wechselspannungsbelastung verändern und unkritisch sind.

¹ Technische Universität Dresden, IEEH, 01069 Dresden, +49 351 463 33202, ieeh_ev_sek@tu-dresden.de, <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ieeh>

² Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Falkensteinstraße 8, 93059 Regensburg, +49 941 4090 0, info@reinhausen.com, www.reinhausen.com

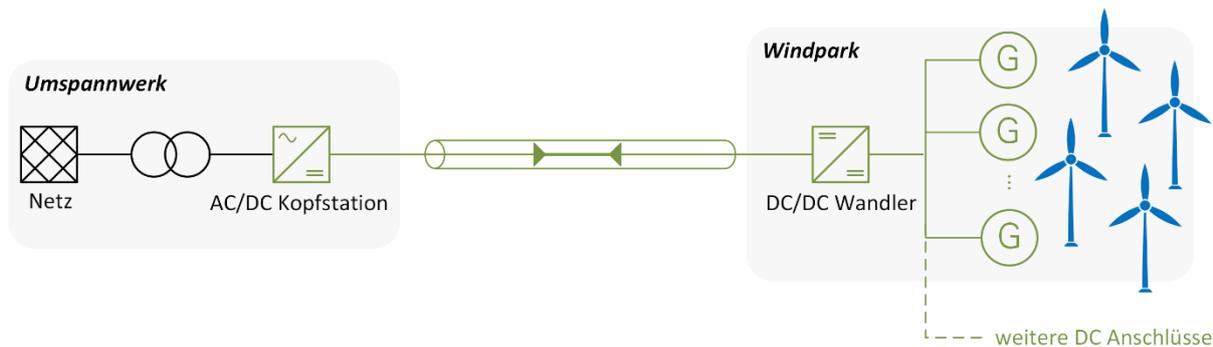


Abbildung 1: Aufbau eines DC-Verteilnetzes zum Anschluss eines Windparks

Da die Isolierungen von AC-Kabeln in der NS-Ebene bedingt durch deren mechanische Beanspruchung elektrisch stark überdimensioniert sind, besteht grundsätzlich ein großes Potential zur Steigerung der übertragbaren Leistung. Langzeitversuche im Labor zeigen das typische NS-AC-Kabel ein Dauerbetrieb mit einer DC-Spannung von über 1,5 kV ohne Probleme standhalten. Eine weitere Erhöhung der DC-Spannung über 1,5 kV würde in den Bereich der MS fallen. Auf Grund der höheren sicherheitstechnischen Anforderungen ist dies nicht gewünscht.

20-kV-AC-Kabel wurden in Langzeitversuchen fehlerfrei mit ± 60 kV betrieben. Versuche, durch eine gezielte Störstelle mit einer Metallnadel im Mantel einem Durchschlag zu provozieren, sind bisher erfolglos geblieben und deuten auf ein sehr hohes Potential zur Verwendung der betriebsgealterten AC-Kabel mit DC-Belastung hin. Die Endverschlüsse müssen aufgrund der deutlich gesteigerten Spannungsbelastung hingegen verändert werden. Es zeigt sich bei gleicher Spannungsbelastung jedoch aufgrund der sich bildenden Raumladungen eine verminderte Teilentladungsaktivität unter DC-Belastung; die Einsetzspannung von Teilentladungen wird deutlich gesteigert. Dennoch überwiegt bei der Erhöhung der Spannung auf ± 60 kV die Feldstärkesteigerung dem Potential durch die Raumladungen, so dass die Endverschlüsse hinsichtlich ihrer geometrischen Abstände angepasst werden müssen. Erste Untersuchungen deuten darauf hin, dass eine entsprechende Verlängerung des Endverschlusses ausreichend ist.

Systemkonzepte

Im Gegensatz zu AC-Netzen existieren in DC-Netzen noch keine genormten Spannungsebenen. Aus den Belastungsversuchen zeigt sich, dass 20-kV-AC-Kabel mit bis zu ± 60 kV DC betrieben werden können. Mit Blick auf das Hochspannungsnetz ist daher im Rahmen des Projekts eine MS-Ebene von ± 55 kV (Pol-Pol-Spannung im bipolaren Betrieb: 110 kV) geplant. In der NS-Ebene soll die maximale Differenzspannung von 1,5 kV ausgenutzt und das System entsprechend mit ± 750 V betrieben werden. Zudem müssen betriebliche Rahmenbedingungen betrachtet werden. Diese betreffen z. B. beim Schutz das Fehlen eines natürlichen Stromnulldurchgangs, aber auch Problematiken bei Erdströmen. Letztere führen typischerweise zu einer starken Korrosion von Anlagenerden, sofern diese nicht darauf ausgelegt sind. Andererseits können die DC-Erdströme auch in benachbarte AC-Systeme einkoppeln und hier zu erheblichen Problemen führen und müssen folglich unterbunden werden. Wird dies berücksichtigt, ergibt sich für Vierleiter-NS-Kabel eine beispielhafte Belegung von +, -, N und PE. Bei einem 3xEinleiter-MS-Kabel kann die Belegung +, - und N gewählt werden, bei einem Doppelsystem hingegen die zwei mal drei Leiter für Leistungstransport (+ und -) und die Schirme für den Neutralleiter genutzt werden.

Fazit

Das Umrüsten bestehender Windparknetze und Windparkanbindungen auf Gleichspannung bietet bezüglich der maximalen Anschlussleistung ein enormes Potential. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass 20-kV-AC-Kabel bei Betrieb mit Gleichspannung ca. 65% der Übertragungsfähigkeit von 110-kV-AC-Kabeln erreichen. Bei Doppelsystemen ist die übertragbare Leistung sogar nahezu identisch. Die Bereitstellung von Systemdienstleistungen, von Blindleistung bis hin zur verschiedenen Arten der Regelleistung, wird erheblich vereinfacht. Gepaart mit den Vorteilen, die ein Stromrichter am Netzanschlusspunkt für den Netzbetreiber bietet, stellt dieses Konzept ein sehr gute Alternative für konventioneller Kraftwerke dar.

Referenzen

- [1] H. Weber, "Von der Frequenzregelung mit Schwungmassen (netzstützende Maßnahmen) zur Winkelregelung mit Umrichtern (netzbildende Maßnahmen)", *12. ETG/GMA-Fachtagung Netzregelung und Systemführung*, 26. – 27.09.2017, Berlin
- [2] S. Kraher et al., "Conversion of Existing AC into DC Cable Links in Distribution Grids: Benefits and Challenges", *ETG-Fb. 163: ETG-Kongress 2021*, 18. - 19.03.2021, Online