

# Innovationen bei Mittelspannung

H. Kabisch, Berlin

**Zusammen mit dem Wandel der Stromversorgung verändern sich auch Aufgaben, Problemlösungen und die Struktur im MS-Netz. Ursachen sind der Kostendruck im liberalisierten Strommarkt und die zunehmende dezentrale Stromerzeugung. Fortschritte der Leistungselektronik und neue Technologien verringern notwendige Umbaumaßnahmen, senken Investitionskosten und erhöhen die Versorgungszuverlässigkeit bis in die NS-Ebene.**

## 1 Wachsende Stromerzeugung am Mittelspannungsnetz

Auch in Zukunft wird das Mittelspannungsnetz als Teil des Verteilungsnetzes im Nahbereich von etwa 30 km Ballungszentren (Städte, Wohngebiete, Industrieabnehmer, Krankenhäuser) mit Elektroenergie versorgen. Diese Verbraucherstruktur wird stärker als in der Vergangenheit durch in der Region installierte dezentrale Energieerzeugungsanlagen (DEA) ergänzt.

### Windkraft – Nr.1 der Stromlieferanten

In Deutschland wurden bisher etwa 13000 Windkraftanlagen (WKA) installiert. Seit Beginn der Förderung in den 90er Jahren ist die Leistung eines Windkonverters von etwa 100 kW im Jahre 2002 auf durchschnittlich 1,3 MW gestiegen. Damit verbunden war ein Anstieg der Ausgangsspannung auf 690 V und der bevorzugte Anschluss einzelner WKA und kleinerer Windparks an regional verfügbare MS-Netze. (Große Windparks sammeln ihre Energie auf Mittelspannungsniveau und übertragen die Elektroenergie über 110/220 kV-Netze in Verbrauchernähe.) Diese Entwicklung veranlasste den VDEW, die aus dem Jahr 1994 stammende Richtlinie „Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ entsprechend den im vorigen Jahrzehnt gesammelten Erfahrungen zu aktualisieren. Der logische Aufbau entspricht der NS-Richtlinie, nicht aber alle einzuhaltenden Vorgaben. Die Leistungsgrenze, ab der DEA an das MS-Netz angeschlossen werden müssen, hängt von der jeweiligen Netzstruktur und vom Anschlusspunkt ab.

Eine Einbindung der DEA in die Mittelspannungsebene ist in vielen Punkten vergleichbar mit dem Wandel im NS-Netz. Da der Energiefluss auf beide Richtungen erweitert wird, ist gleichfalls ein bidirektionales Kommunikations- und Informationssystem nötig, in das Verbrauchergruppen und Betriebsmittel einschließlich der DEA über geeignete Schnittstellen einbezogen werden. Dies ist Voraussetzung für die zentrale Betriebsführung und ein völlig neues Energiemanagement [1].

WKA liefern derzeit den größten Anteil des in Deutschland erzeugten Stromes aus

regenerativen Energiequellen. Nur ein Teil davon wird auf direktem Weg und damit verlustarm in ein MS-Netz eingespeist und versorgt benachbarte Großverbraucher oder unterlagerte NS-Netze. WKA werden dabei im Leistungsbereich von etwa 5 bis 20 MW durch mit Biomasse energetisch versorgte Kraftwerke, gasmotorisch angetriebene Blockheizkraftwerke sowie typisch

auch durch Gasturbinenantriebe mit Generatoren und Brennstoffzellen ergänzt [2].

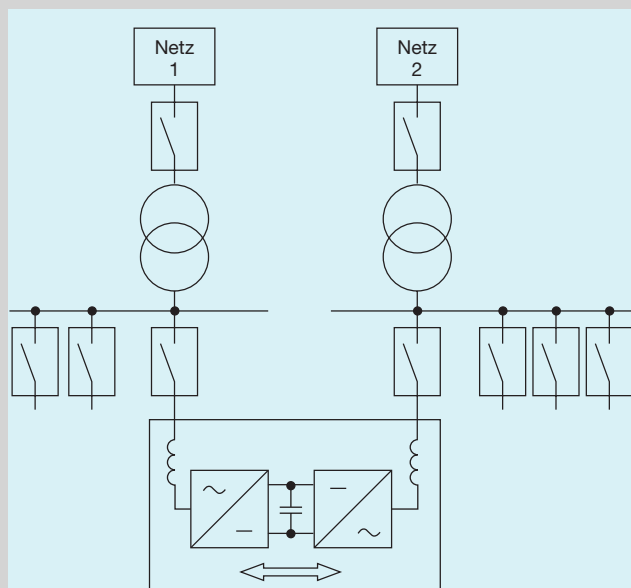
## Aufwandsminimierung und Blindleistungskompensation

In der Regel liegt die Ausgangsspannung der heute verfügbaren Windkonverter großer Leistung (typisch 2 MW) noch unterhalb 1 kV. Um sie auf das Mittelspannungsniveau anzuheben, war es bisher üblich, in unmittelbarer Nähe eine gesonderte Transformatorstation auf einem eigenen Fundament zu errichten [2]. Seit verganginem Jahr liefert Marktführer Enercon WKA, deren Transformator und Schaltanlagen in den Turm integriert wurden (Bild 1). Kosteneinsparung, verbesserter Schutz gegen Witterungseinflüsse und Vandalismus sowie Reduzierung der Energieverluste im Kabelnetz sind Vorteile des neuen Konzepts. Kennzeichen moderner WKA sind ihre variable Drehzahl und die Netzkopplung über Umrichter mit Spannungszwischenkreis

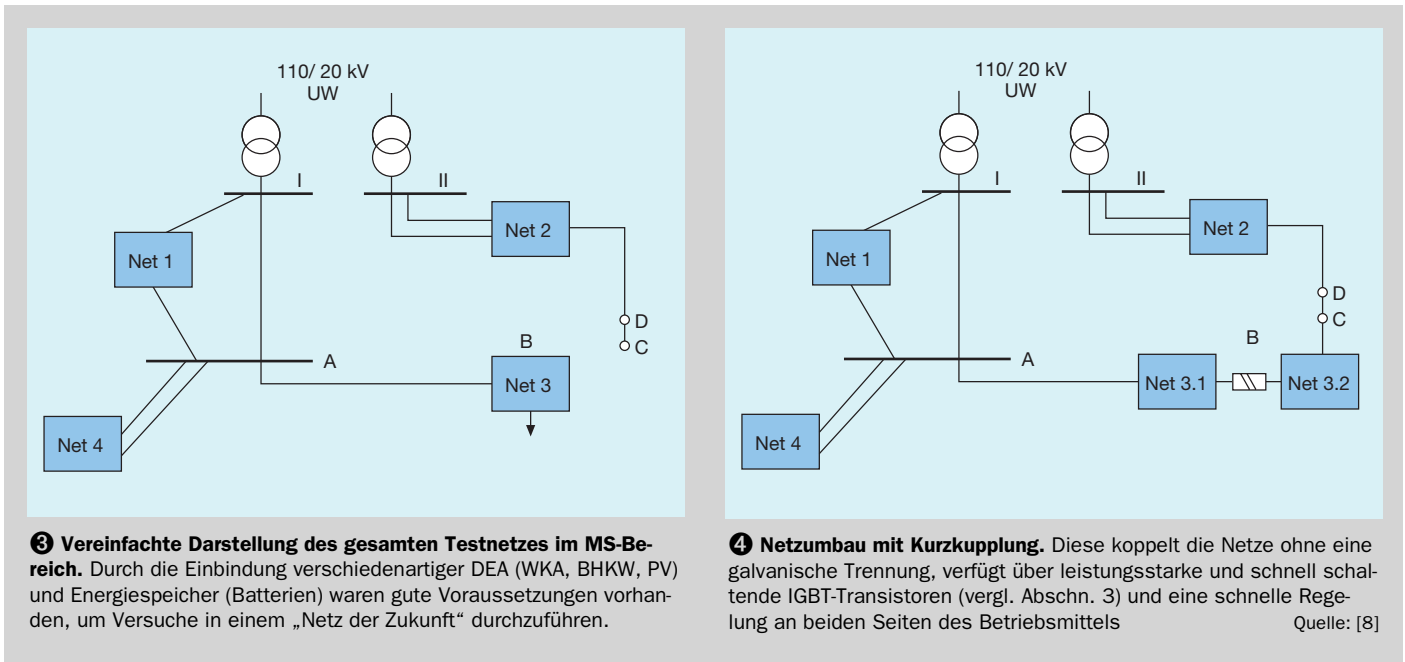


1 Draufsicht auf den im Turmfuß integrierten Transformator mit den Kühlrippen, roten Mittelspannungskabeln und SF<sub>6</sub>-Schaltanlage.

Quelle: Enercon



2 Kurzschluss zweier MS-Netze über einen Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis.



und selbstgeführtem Wechselrichter. Letztere sind das Ergebnis einer innovativen Leistungselektronik, die im MS-Netz inzwischen auch neue Betriebsmittel und verbesserte Antriebslösungen möglich macht. WKA dieses Typs liefern unabhängig voneinander Wirk- und Blindleistung. Unterstützt durch ein Energiemanagement lässt sich auf diesem Weg die Spannungsqualität des Netzes verbessern. Gleichzeitig gleichmäßig der drehzahlvariable Betrieb die Leistungsabgabe und glättet sie zusätzlich durch die Rotormasse (kinetischer Energiespeicher; ähnlich wie in konventionellen Kraftwerken).

Inzwischen erwarten Fachleute übereinstimmend auch von anderen DEA eine durch Simulation und Erprobung in der Praxis mehrfach nachgewiesene Verbesserung der Versorgungszuverlässigkeit. Da zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in vielen Fällen die Verbesserung unverzichtbar ist und ein alternativer Netzausbau hohe Investitionskosten erfordert, setzen die Netzbetreiber vermehrt auf die subventionierten DEA. Dass diese Verbesserungen im Netz häufig notwendig sind, ergibt sich aus dem Verhalten unzufriedener Stromabnehmer, die auf eine eigene USV-Anlage verzichten wollen und deshalb höhere Anforderungen an den Stromhändler stellen. Die höhere Versorgungszuverlässigkeit wird dabei vor allem von der MS-Ebene gefordert. Eine aktuelle VDEW-Statistik bestätigt ihr beim Vergleich zum Übertragungsnetz eine „immens hohe Anzahl von für den Endverbraucher erkennbaren Störungen/Versorgungsunterbrechungen“. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Mängel auf das unterlagerte NS-Netz übertragen werden [3]. Trotz der zu erwartenden Maßnahmen zur

Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit der öffentlichen Stromversorgungsnetze werden USV und Stromspeicher nicht überflüssig. Dazu gehören im Mittelspannungsbereich neben leistungsstarken Notstromaggregaten und Batteriespeichern zukünftig auch supraleitende magnetische Stromspeicher (SMES) [4][5]. Diese sind teuer und eignen sich deshalb vor allem für extrem sensible Bereiche.

## 2 Gleichspannung koppelt Mittelspannungsnetze

Auch die unter dem Firmennamen Siplink (Siemens) entwickelte Gleichspannungs-Kurzschlusskupplung kann die Zuverlässigkeit der Stromversorgung verbessern. Voraussetzung ist die Existenz zweier Netze, die miteinander gekoppelt sind (Bild 2). Fällt eines der über unterschiedliche Übertragungsnetze versorgten Netze aus, kann über die Kupplung Energie bezogen werden. Hauptglied der Kurzschlusskupplung ist wie bei WKA und Antriebssystemen ein Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis, der einen Energieaustausch in beiden Flussrichtungen erlaubt. Eine erste im Netzbetrieb bereits getestete Kurzschlusskupplung überträgt unabhängig voneinander jede gewünschte Blind- und Wirkleistung bis 2 MW/MVA. Damit kann auch im ungestörten Betrieb durch ein Blindenergiemanagement die Spannungsqualität verbessert werden (vgl. Abschnitt zu Windkraft), oder die Energie eines preisgünstigeren Stromhändlers genutzt werden.

### Test erfolgreich abgeschlossen

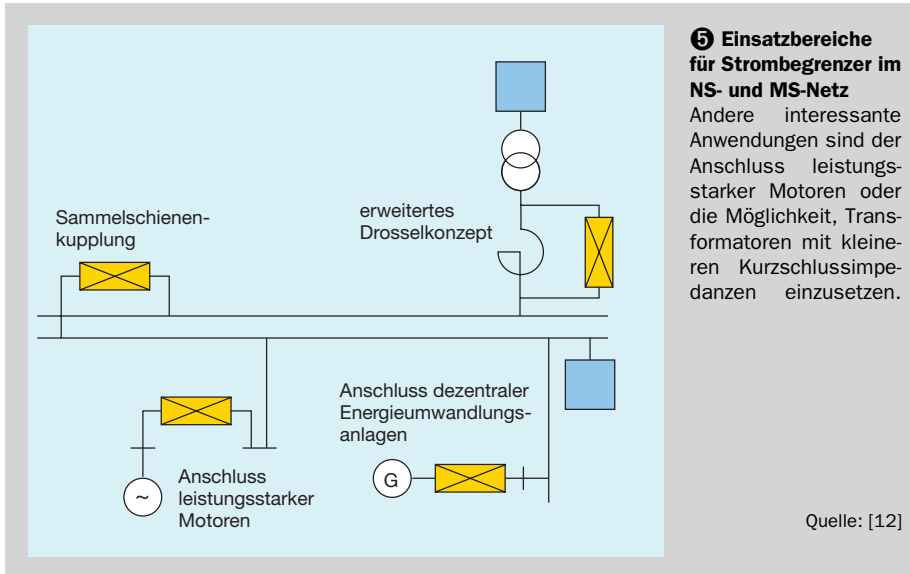
Um zuverlässige Aussagen über die Wirksamkeit dieser Kurzschlusskupplungen zu erhal-

ten, waren u. a. umfangreiche Tests unter Originalbedingungen notwendig. Einbezogen wurden unterlagerte NS-Netze, verschiedenartige DEA, Batteriespeicher und andere Komponenten. Die im Rahmen des Projektes „EDISON“ im Netzgebiet der Stadtwerke Karlsruhe durchgeführten Versuche wurden im Jahr 2002 erfolgreich abgeschlossen.

Bild 3 zeigt das untersuchte Mittelspannungsnetz, das vom 110/20 kV-Umspannwerk versorgt wird. Trafo I beliefert die Netze Nr. 1, 3 und 4, Trafo II das Netz 2 sowie die Station C und D. Die örtlichen Bedingungen verbieten leider die Koppelung der Systeme I und II. Deshalb wurde das Mittelspannungsnetz in zwei Teilnetze geteilt, die über eine Kurzschlusskupplung miteinander verbunden sind (Bild 4). Trotz dieser Schwierigkeiten konnte der Nachweis erbracht werden, dass sowohl beim ein- wie auch beim zweiseitig eingespeisten MS-Netz die Versorgungsqualität verbessert werden kann [6][7][8].

## 3 Leistungselektronik für Drehzahlverstellung und Spannungsqualität

Zu den aus dem MS-Netz versorgten Stromverbrauchern zählen u. a. drehzahlveränderbare Antriebe großer Leistung für Pumpen, Lüfter, Walzwerke usw. Die typischen Motorspannungen reichen von 2,3 kV bis 4,16 kV und erfordern eine Spannungsanpassung über vorgeschaltete Transformatoren. Die Drehzahlverstellung übernehmen wie im NS-Bereich Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis, die zur Drehzahlverstellung gleichzeitig Motorfrequenz und -spannung verändern [9]. Ihre Grundstruktur entspricht den bisher er-



währten Umrichter für WKA und Kurz-  
kupplungen. Sie auf Antriebe und Be-  
triebsmittel im MS-Bereich zu übertragen  
erfordert Halbleiterbauelemente hoher  
Leistung und Sperrspannung. Dabei kon-  
kurrieren abschaltbare Thyristoren der Ty-  
pen GCT bzw. IGCT (bis 5,5 kV) mit

stromstarken Transistoren vom Typ IGBT  
(bis 6,5 kV). Die Bestückung mit Thyristo-  
ren erlaubt die Realisierung von Umrich-  
tern für die genannten Motorspannungen  
mit einer Leistung von mehr als 15 MW  
(Mitsubishi). Nächste Entwicklungsziele –  
in die u.a. leistungsstarke Elektroenergie-

speicher (15 MW) und WKA einbezogen  
wurden – sind kommerziell verfügbare  
Umrichter für 6 und 10 kW [10][11]. Dem-  
gegenüber setzt Alstom auf eine patentier-  
te IGBT-Schaltungstechnik. Das bereits  
im Jahr 2000 erstmalig vorgestellte System  
ALSPA VDM 6000 ist für verschiedene  
Motorspannungen geeignet und gestattet  
höhere Antriebsleistungen durch Parallel-  
schaltung von Umrichtern oder durch eine  
Reihenschaltung in Tandemanordnung.  
Im letztgenannten Fall werden die offenen  
Motorwicklungen durch zwei unabhängige  
Umrichter von beiden Seiten eingespeist.  
Damit versorgen zwei für jeweils 4,6 MVA  
und 3,3 kV ausgelegte Umrichter 6,6 kV-  
Motoren bis zu einer Leistung von 9,2  
MVA.

Auch Umrichter für Antriebe ermöglichen  
einen netzfreundlichen Anschluss. Der  
Leistungsfaktor ist einstellbar, so dass  
beispielsweise bei  $\cos \varphi = 1$  das Mittel-  
spannungsnetz keine Grundschwingungs-  
blindleistung liefern muss. Eingestellt auf  
kapazitive Blindleistung kompensiert der  
Umrichter induktive Leistung parallel  
angeschlossener Verbraucher und leis-  
tet damit gleichzeitig einen Beitrag zur  
Stabilisierung der Versorgungsspannung.

### Netzqualität im Griff

Die „heilende“ Wirkung moderner Umrichtersysteme bei Qualitätsproblemen im Netz hat bereits vor mehreren Jahren zu speziellen Betriebsmitteln für Verteilungsnetze geführt. Es sind dies aktive Filter zur Kompensation beispielsweise der 5., 7., 11. und 13. Harmonischen Oberschwingungen und weiterhin auch Spannungskompensatoren. Dazu gehört auch das von Siemens geschaffene SIPCON-System, dessen Herzstück Teil eines serienmäßig gefertigten IGBT-Umrichters zur Speisung elektrischer Antriebe ist. Das Betriebsmittel kann mit unterschiedlicher Zielstellung sowohl parallel als auch seriell mit dem Netz gekoppelt werden. Im erstgenannten Fall werden alle Arten von Netzrückwirkungen beliebiger Verbraucher kompensiert (Oberschwingungen, Blindleistung und unsymmetrische Ströme). Bei einer seriellen Ankopplung kann das Gerät Spannungserhöhungen und -absenkungen im MS-Netz bis zu Leistungen von 20 MVA ausgleichen. Kombiniert mit Schwungradspeicher oder Batterie lassen sich sogar Spannungseinbrüche und kurzzeitige Abschaltungen überbrücken. Eine Kombination beider Ankopplungsarten mit zwei Geräten ist möglich. SIPCON kann sowohl direkt in die NS-Anlage eines Umspannwerkes als auch über einen Transformator in die MS-Anlage integriert werden. Darüber hinaus wurden von anderen Herstellern Umrichter zum Anschluss an das MS-Netz entwickelt, die mit Hochvolt-IGBT bestückt sind und ausschließlich zur dynamischen Blindleistungskompensation dienen.

### 4 FCL vermeiden größeren Netzausbau

Eine gute Möglichkeit zur kostengünstigen Verbesserung der Spannungsstabilität sind Stoßkurzschluss-Strombegrenzer (fault current limiters, FCL). Bild 5 zeigt drei mögliche Einsatzbereiche [12]. Im MS-Bereich sind die pyrotechnischen  $I_S$ -Begrenzer bislang die einzigen. Ihr Wirkprinzip beruht auf einer Sprengkapsel, die der Kurzschlussstrom bereits im Anstieg der ersten Stromhalbschwingung aufsprengt, wodurch die Stromlöschung eingeleitet wird. Nachteilig ist bei dieser nicht seltenen Begrenzung der Aufwand für Brandschutz, Funktionsüberwachung und Auswechslung des Sprengsatzes. Bereits im kommenden Jahr wird voraussichtlich der erste Prototyp eines leistungselektronischen FCL im Netzbetrieb erprobt. Kern sind löschbare Thyristoren vom Typ IGBT, deren Einsatz frei von den o. g. Nachteilen ist. Damit knüpft die Industrie an den Einsatz leistungselektronischer FCL vom Typ „LimSoft“ an, die im NS-Netz vor allem zum Anschluss von WKA installiert werden. Auch supraleitende FCL sind Gegenstand der Entwicklung. Kern der u. a. von Siemens unter dem Namen Hochtemperatursupraleitung (HTSL) durchgeführten Arbeit sind supraleitende Leiterbahnen, die bei 77 K – das sind minus 196 °C – praktisch widerstandslos sind. Bei Auftreten eines Kurzschlusses wird der Betriebsstrom deutlich überschritten und der Supraleiter „kippt“ in weniger als einer ms in den normalleitenden, strombegrenzenden Zustand. Parallel dazu ist auch das Konzept des begrenzenden HTSL-Transformators ein Entwicklungsobjekt. Vorteile erwarten die Entwickler durch ein deutlich verringertes Volumen

und Gewicht. Die relativ geringe Verbesserung des Transformator-Wirkungsgrades führt zu Energieeinsparungen, die während der gesamten Lebensdauer sogar die zusätzlichen Investitionskosten übertreffen könnten. Wie in anderen Bereichen der Supraleitung ist aber auch bei den genannten Anwendungen noch keine Serienreife erkennbar.

### Literaturverzeichnis

- [1] Kabisch, H.: Wandel der EU-Stromversorgung. ep 03/03, S. 158-161
- [2] Sprenger, H.; Möbius, J.: Alternative Energiegewinnung aus Windkraft benötigt Schaltanlagen. ep 9/00, S. 788
- [3] „Visionen vom Global link“. Energiespektrum 1-2/2002, S. 46-49
- [4] Hoffmann, E. u. a.: Energiespeicherung und wirtschaftliche Anwendungen. ETG-Fachbericht 73, Vorträge des 13. VDE/ETG-Fachforums Okt. 1998, S. 73-83
- [5] Sieberth, W.-D.: Hohe Versorgungssicherheit. ep 9/02, S. 710-712
- [6] Kabisch, H.: Verteilte Stromerzeugung mit neuer Netzstruktur. ep 12/02, S. 996-1001
- [7] Buchholz, B. M.; Böse, C.: Der Einfluss dezentraler Erzeugung auf die Verteilnetze. e&i 6/02, S. 181-186
- [8] Bachry, A. u. a.: Einfluss von verteilten Erzeugern und Speichern auf Netzplanung und Netzbetrieb. VDE-Kongress Okt. 2002 Tagungsband 1, S. 395-400
- [9] Mierke, W.: Frequenzumrichter, Einführung in die Technik, beginnend ab LuK 7/02, S. 12-14
- [10] Sommer, R.: Spannungszwischenkreisumrichter im MS-Bereich. VDE/ETG-Fachbericht 88, Vorträge zur Fachtagung Leistungselektronik Apr. 2002
- [11] Bernet, Steffen: Technologische Entwicklungen und Applikationen von IGCTs. VDE/ETG-Fachbericht 88, Vorträge zur Fachtagung Leistungselektronik Apr. 2002
- [12] Behrens, Petra u. a.: Strombegrenzer und strombegrenzender HTSL-Transformator in der elektrischen Energieversorgung. VDE-Kongress Okt. 2002. Tagungsband 1, S. 389-394