

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.1.4 | Q-Änderungsfähigkeit von statischen und dynamischen Kompensationen | 32 |
| 5.2 | Kompensationsanlagen | 32 |
| 5.2.1 | Allgemeines | 32 |
| 5.2.2 | Fremde Kompensationsanlagen..... | 33 |
| 5.2.3 | Q-Bereitstellung im Rahmen der technischen Anschlussregeln | 33 |
| 5.2.4 | Q-Bereitstellung im Rahmen bilateraler Vereinbarungen..... | 34 |
| 5.2.5 | Q-Bereitstellung von Erzeugungsanlagen in Industrienetzen mit kundeneigenen Kompensationseinrichtungen | 34 |
| 5.2.6 | Eigene Kompensationsanlagen des Verteilungsnetzbetreibers | 34 |
| 5.2.7 | Mischanlagen..... | 34 |
| 5.3 | Netzstruktur und Netzbetrieb..... | 35 |
| 5.3.1 | Netztopologie..... | 35 |
| 5.3.2 | Spannungsniveau | 37 |
| 5.3.3 | Erweiterung des Q-Vermögens durch direkt wirkende Spannungsregelung | 38 |
| 6 | Systemanalyse | 40 |
| 6.1 | Messwert-basierte Analyse des Q-Verhaltens des eigenen Netzes | 41 |
| 6.2 | Simulationsbasierte Analyse des Q-Verhaltens des eigenen Netzes | 45 |
| 6.2.1 | Charakteristische Lastflusskombinationen (Netzplanungsfälle) | 46 |
| 6.2.2 | Zeitreihenanalyse | 48 |
| 6.2.3 | Analyse mithilfe probabilistischer Lastflussrechnung | 49 |
| 7 | Umsetzung eines Blindleistungs-Managements | 52 |
| 7.1 | Schnittstelle mit vorgelagertem bzw. benachbarten Netzen | 53 |
| 7.2 | Verhalten bei abweichenden Schaltzuständen und Störungen..... | 54 |
| 7.2.1 | Abweichungen vom Normalschaltzustand..... | 54 |
| 7.2.2 | Anlagenverhalten bei Störung oder Kommunikationsausfall..... | 54 |
| 7.3 | Spannungshaltung vs. Blindleistungshaushalt | 55 |
| 7.3.1 | Mögliche Wechselwirkungen und Auswirkungen eines Q-Managements..... | 55 |
| 7.3.2 | Einfluss der Entfernung der Erzeugungsanlage vom Umspannwerk..... | 55 |
| 7.4 | Einsatz eigener und fremder Betriebsmittel | 57 |
| 7.5 | Erzeugungsanlagen und Speicher | 58 |
| 7.5.1 | Grundsätzlich verfügbare Möglichkeiten der Q-Beeinflussung | 58 |
| 7.5.2 | Stabilität bei spannungsabhängiger Regelung..... | 60 |
| 7.5.3 | Kombination Q-Regelungs- und - Steuerungsverfahren bei mehreren Erzeugungsanlagen in einem Netz..... | 61 |
| 7.5.4 | Bewertung der Kennlinienverfahren | 64 |
| 7.6 | Ausblick: Kommunikations-basiertes Blindleistungsmanagement | 64 |
| 7.6.1 | Manuelle oder automatisierte Vorgaben aus der Netzführung..... | 64 |
| 7.6.2 | Zukunftsmusik: Zustandsschätzung und optimierte, automatisierte Vorgaben ... | 64 |
| 8 | Zusammenfassung..... | 66 |

Bildverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| Bild 1: | Schematische Darstellung der Blindleistungsflüsse in einem MS-Netz: bei Schwachlast ohne dezentrale Einspeisung (links) und bei Starklast mit dezentraler Einspeisung (rechts) | 10 |
| Bild 2: | Betrachtungsbereich mit den zu berücksichtigenden Schnittstellen und Unterlagen (G=Generator; V=Verbraucheranlage) | 11 |
| Bild 3: | Allgemeine Darstellung zum Ablauf des Blindleistungsmanagements | 12 |
| Bild 4: | Begriffsdarstellung im Verbraucherzählpeilsystem | 20 |
| Bild 5: | Erläuterung zum Q-Vermögen des Netzes | 21 |
| Bild 6: | Erläuterung zur Q-Änderungsfähigkeit des Netzes | 22 |
| Bild 7: | Übersicht zu den Beeinflussungsmöglichkeiten des Q-Verhaltens und deren weitere Behandlung im vorliegenden FNN-Hinweis | 26 |
| Bild 8: | Beispielhaftes Q-Vermögen von einer Erzeugungseinheit (Wind) | 29 |
| Bild 9: | Beispielhaftes Q-Vermögen von neueren Erzeugungseinheiten (Photovoltaik) | 30 |
| Bild 10: | Aufbau der Regelstrecke einer Erzeugungsanlage (am Beispiel eines Windparks) ... | 31 |
| Bild 11: | Veranschaulichung der Veränderung des Verschiebungsfaktors am Beispiel eines Verbrauchers ($\cos\varphi$ 0,93 ind.) mit Photovoltaik-Anlage (Betrieb mit $\cos\varphi$ 0,95 ind.) . | 35 |
| Bild 12: | Beispielhafter Q-Bedarf von typischen Ortsnetztransformatoren bzw. typischer HS/MS-Transformatoren | 36 |
| Bild 13: | Auf die Leitungslänge (Kabel und Freileitung) bezogener Q-Bedarf | 37 |
| Bild 14: | Ablaufdiagramm zur Analyse des Q-Verhaltens | 40 |
| Bild 15: | P-Q-Diagramm eines Netzgebietes an der Unterspannungsseite des HS/MS-Transformators gemessen (Umspannwerk mit 2 Transformatoren; Summe der MS-seitigen ¼-h-Messungen über ein Jahr) | 41 |
| Bild 16: | Beispielhafte P-Q-Diagramme bei unter- und oberspannungsseitiger Messung | 42 |
| Bild 17: | Beispielhafte P-Q-Diagramme bei unter- und oberspannungsseitiger Messung am Erzeugungsanlagen-Anschlusstransformator | 42 |
| Bild 18: | Beispielhafte P-Q-Diagramme für Stadt- und Landnetze und deren Durchmischung | 43 |
| Bild 19: | Beispielhafte P-Q-Diagramme für Erzeugungsanlagen | 43 |
| Bild 20: | Beispielhafte Darstellung von P- und Q-Gängen und den daraus resultierenden $\cos\varphi$ -Werten im Zeitbereich einer Woche für die vier Quadranten | 45 |
| Bild 21: | Prinzipskizze des Musternetzes, in Anlehnung an [26] | 47 |
| Bild 22: | Q-Beiträge für den unbeeinflussten Ausgangsfall | 47 |
| Bild 23: | Wirkleistungsbilanz des Musternetzes | 48 |
| Bild 24: | Q-Bilanz des Musternetzes im unbeeinflussten Ausgangsfall | 49 |
| Bild 25: | Mögliche Q-Bandbreite eines beispielhaften MS-Netzes | 50 |
| Bild 26: | Prozessschritt Umsetzung eines Q-Managements | 52 |
| Bild 27: | Darstellung der höchstzulässigen Erzeugungsanlagen-Anschlussleistung einer Leitung in Abhängigkeit der Anschlussentfernung und der Bereiche ihrer anschlussbegrenzenden Kriterien | 56 |
| Bild 28: | Blindleistungsflüsse zwischen den Spannungsebenen für den Stark- und Schwachlastfall | 69 |
| Bild 29: | Q-Bilanz des Musternetzes in verschiedenen Beeinflussungsfällen | 71 |
| Bild 30: | Q-Vermögen und Q-Beitrag der Erzeugungsanlagen bei Q-Vermögen gem. BDEW MS-RL [6] | 71 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabelle 1: | Übersicht zu Veröffentlichungen mit Q-Vorgaben | 23 |
| Tabelle 2: | Beispielhafte Q-Beeinflussungsmöglichkeiten von Steuer- und Regeleinheiten durch den Verteilungsnetzbetreiber | 24 |
| Tabelle 3: | Bereichs-Vorgaben für den Verschiebungsfaktor in Abhängigkeit der Spannungsebene | 28 |
| Tabelle 4: | Erläuterung zu den Zeitdauern aus Bild 10 | 31 |
| Tabelle 5: | Darstellung des Blindleistungsanteils und der Scheinleistungserhöhung bezogen auf die Wirkleistungsentnahme | 33 |
| Tabelle 6: | Betriebsmittelmatrix hinsichtlich wesentlicher Aspekte für das Q-Management ohne Berücksichtigung der Änderung von Netzverlusten | 58 |
| Tabelle 7: | Möglichkeiten der Q-Beeinflussung mittels Erzeugungsanlage (üb=übererregt; un=untererregt) | 60 |
| Tabelle 8: | Kombinationen von Q-Regelungs- bzw. –Steuerungsverfahren | 62 |
| Tabelle 9: | Vorteile/Besonderheiten der Kombinationsmöglichkeiten von Erzeugungsanlagen-Regelungsstrategien | 63 |
| Tabelle 10: | Übersicht zu den Funktionen und deren Anwender | 70 |