



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
<b>6</b>	<b>Systemanalyse .....</b>	<b>40</b>
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
<b>7</b>	<b>Umsetzung eines Blindleistungs-Managements .....</b>	<b>52</b>
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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>66</b>

## 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