

# **Hinweise zur Blindstromkompensation**

**Anlage zu Ziffer 10 – TAB 2007**

**(Ausgabe Februar 2017)**

**SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG**

Emmy-Noether-Straße 2

80992 München

Internet: [www.swm-infrastruktur.de](http://www.swm-infrastruktur.de)

Stand: 01.02.2017

**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>4</b>
1.1	Technische Grundlagen	4
<b>2</b>	<b>Kompensationsarten</b>	<b>4</b>
2.1	Einzelkompensation	4
2.2	Gruppenkompensation	5
2.3	Zentralkompensation	5
<b>3</b>	<b>Bemessung und Wirtschaftlichkeit einer Kompensationsanlage</b>	<b>5</b>
3.1	Berechnungsbeispiel	5
3.2	Auswirkungen auf Leitungen	6
<b>4</b>	<b>Netzurückwirkungen</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Tabelle</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Übersicht</b>	<b>9</b>

## 1. Vorbemerkungen

In den folgenden Abschnitten wird auf die technischen Grundlagen der Blindstromkompensation, die Kompensationsarten und die Bemessung einer Kompensationsanlage (Beispiel) sowie auf die mit der Kompensation verbundenen Probleme (Stichwort: Netzurückwirkungen) eingegangen.

### 1.1 Technische Grundlagen

Bei der elektrischen Energie unterscheidet man zwischen

- Wirkleistung (kW): Ist die Scheinleistungskomponente, die in Phase mit der Spannung ist ( $\varphi=0^{\circ}$ )
- Blindleistung (kVAr): Ist die Scheinleistungskomponente, die senkrecht zur Spannung ist ( $\varphi\pm 90^{\circ}$ )
- Scheinleistung (kVA): Ist das Produkt aus Strom und der ihn treibenden Spannung

Die von den Verbrauchern benötigte Blindleistung belastet neben den Generatoren in den Kraftwerken auch die Transformatoren sowie die Übertragungsleitungen bis hin zur Verbraucheranlage, sie erhöht den Spannungsfall und die Leitungsverluste. Das bedeutet, dass durch die zusätzliche Blindleistung die Übertragungswege (Leitungen, dazugehörige Transformatoren und Schalter des Verteilungsnetzbetreibers und des Kunden) größer ausgelegt werden müssen. Die höheren Leitungsverluste bedingen vermehrten Brennstoffeinsatz in den Kraftwerken.

Aus diesem Grunde sollte die **Blindleistung** möglichst nahe am Ort der Entstehung **kompensiert** werden.

## 2. Kompensationsarten

Bei der Kompensation mit Kondensatoren unterscheidet man grundsätzlich drei Arten. Welche Art - oder auch deren Kombination - die technisch und wirtschaftlich günstigste Lösung darstellt, richtet sich nach den betrieblichen Gegebenheiten.

### 1.2 Einzelkompensation

Sie wird bei (größeren) induktiven Verbrauchern mit höherer Betriebsdauer oder konstanter Leistung angewendet. Die Einzelkompensation bietet verschiedene Vorteile, z. B. Kondensator und Verbraucher evtl. in einem Gehäuse, keine Regeleinrichtung erforderlich sowie bei Schaltung entsprechend Abbildung 2.1 Einsparung im Installationsbereich und von zusätzlichen Schaltgeräten. Bei verschiedenen Verbrauchern - wie Asynchronmotoren, Transformatoren, Schweißtransformatoren und Entladungslampen kann eine falsch eingesetzte und bemessene Einzelkompensation zu technischen Problemen (z. B. Überkompensation, Überspannung, Resonanzen bei Oberschwingungen) führen, die bei der Planung bereits zu berücksichtigen sind.

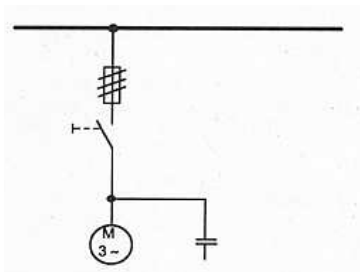


Abbildung 2.1: Einzelkompensation

### 1.3 Gruppenkompensation

Die Gruppenkompensation (siehe Abbildung 2.2) wird bei Verbrauchergruppen mit gleichem Betriebsverhalten (z.B. Lichtbändern) und zur Entlastung bestehender Unterverteilungen eingesetzt.

Den Vorteilen niedriger Kondensatorkosten sowie der Verringerung der Stromwärmeverluste und des Spannungsfalls steht als Nachteil gegenüber, dass die Stromkreisleitungen **nicht** entlastet werden.

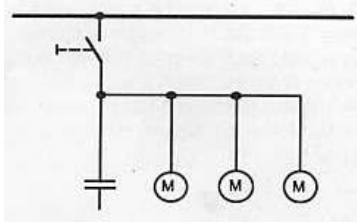


Abbildung 2.2: Gruppenkompensation

### 1.4 Zentralkompensation

Anwendung findet diese Kompensationsart (siehe Abbildung 2.3) bei größeren Anlagen und ständig wechselnder Last. Mit einer automatischen Regelung lässt sich die Kondensatorleistung (Stufenschaltung) dem Blindleistungsbedarf anpassen; eine nachträgliche Installation und Erweiterung der Kompensationsanlage ist möglich. Das Hauptleitungssystem und die Stromkreisleitungen werden **nicht** entlastet.

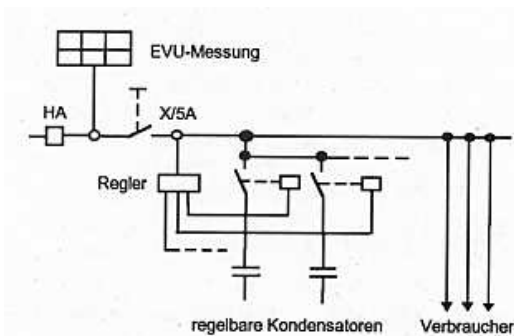


Abbildung 2.3: Zentralkompensation

## 3. Bemessung und Wirtschaftlichkeit einer Kompensationsanlage

Um eine Kompensationsanlage richtig bemessen zu können, werden die entsprechenden Daten der zu kompensierenden Anlage benötigt.

Anhand eines Beispiels soll **eine** Möglichkeit der Bemessung sowie der Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Kompensationsanlage aufgezeigt werden.

### 3.1 Berechnungsbeispiel

Hierbei handelt es sich um eine größere Gewerbeanlage mit registrierender Leistungsmessung; die Ausgangsdaten wurden der Monatsstromrechnung entnommen.

- Wirkstromverbrauch: 200.000 kWh ( $W_P$ )
- Blindstromverbrauch: 159.750 kVArh ( $W_Q$ )
- Wirkleistung: 480 kW (P)

#### Rechengang:

- Freigrenze der Blindarbeit: 48% aus 200.000 kWh = **96.000 kVArh**
- zu kompensierende Blindleistung: 159.750 kVArh – 96.000 kVArh = **63.750 kVArh**
- Ermittlung der Kondensatorleistung:

$$Q_C = P * (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

siehe Tabelle  
auf Seite 8

- Vorhandener Leistungsfaktor:  $\tan \phi_1 = \frac{W_Q}{W_P} = \frac{159.750 \text{ kVArh}}{200.000 \text{ kVArh}}$   
 $\tan \phi_1 = 0,8 \Rightarrow \cos \phi_1 = 0,78^*)$
- Gewünschter Leistungsfaktor:  $\cos \phi_2 = 0,9 \Rightarrow \tan \phi_2 = 0,48$
- Benötigte Kondensatorleistung:  $Q_C = 480 \text{ kW} * (0,8 - 0,48)$   
 $Q_C = 153,6 \text{ kVA} = 180 \text{ kVA} \text{ (Herstellerwert)}$

▪ Wirtschaftlichkeit

a) Investitionen für

$$\cos \phi_2 = 0,9 \quad Q_C = 180 \text{ kVA}$$

$$K_I = 25,- \text{ €/kVA} * 180 \text{ kVA} = \underline{4.500,-\text{€}}$$

(Die Preise für Kondensatoranlagen sind bei den Elektroinstallationsfirmen oder den Kondensatorherstellern zu erfragen)

b) Verrechneter Blindverbrauch pro Jahr

$$K_{WQ} = 957910 \text{ kVArh} * 0,015 \text{ €/kVArh} = \underline{14.368,-\text{€}}$$

c) Amortisation:

$$t_A = \frac{K_I}{K_{WQ} - K_W}$$

$$t_A = \frac{\text{Investitionskosten}}{\text{Kosten Blindverbrauch} - \text{Wartungskosten (1,5\% v.K}_I)}$$

$$t_A = \frac{4.500,-\text{€}}{14.368,-\text{€} - 70,-\text{€}}$$

$$t_A = 0,31 \text{ Jahre bzw. rund 4 Monate}$$

### 3.2 Auswirkungen auf Leitungen

In den Leitungen, die – in Energieflussrichtung gesehen – vor dem Einbauort einer korrekt bemessenen Kompensationsanlage angeordnet sind, fließt ein niedriger Strom als in den nachgeschalteten.

Dadurch ergibt sich in diesen Leitungen

- eine Leistungsreserve
- eine Verringerung der Stromwärmeverluste
- eine Verringerung der Spannungsverluste.

a) Leistungsreserve

Die Kundenanlage bezieht bei einem  $\cos \phi_1 = 0,78$  eine Scheinleistung von

$$S_1 = \frac{P}{\cos \phi_1} = 615 \text{ kVA} \quad \Rightarrow \quad I_1 = 888 \text{ A (100\%).}$$

Bei einem  $\cos \phi_2 = 0,9$  (durch Kompensation) wird nur noch eine Scheinleistung von

$$S_2 = \frac{P}{\cos \phi_2} = \mathbf{533 \text{ kVA}} \quad \Rightarrow \quad I_2 = \mathbf{770 \text{ A (86\%).}}$$

benötigt.

Es ergibt sich somit eine Leistungsreserve von 82 kVA (118A).

b) Verringerung der Stromwärmeverluste

Die Stromwärmeverluste hängen vom Quadrat des Stromes ab. Ausgehend vom Strom  $I_1 = 888 \text{ A}$  ergibt sich eine Verringerung der Verluste um ca. **25%**.

c) Verringerung der Spannungsverluste

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi)$$

Bei einem  $\cos \phi_2 = 0,9$  : **≈ 9%**

#### 4. Netzurückwirkungen

Bei geregelten Kompensationsanlagen können durch Schalten von Kondensatoren Spannungsspitzen bis zum zweifachen der Nennspannung auftreten. Empfindliche Datenverarbeitungsanlagen können bei besonders energiereichen Spannungsspitzen gestört werden.

Die Anwendung von Leistungselektroniken (Stromrichter) führt zu erhöhtem Blindleistungsbedarf, weshalb in diesen Fällen häufig kompensiert werden muss. Die nicht sinusförmige Stromentnahme von Stromrichtern bedeutet hohe Oberschwingungsströme bzw. -spannungen, die u. U. Kompensationskondensatoren gefährden können. Vor allem bei größeren Kompensationsanlagen können Resonanzen durch den Schwingkreis „Kundentrafo ... Kompensationsanlage“ auftreten, die in den Bereich der am stärksten vertretenen Oberschwingungen (5te, 7te Oberschwingung) fallen. Die evtl. durch Resonanzüberhöhungen auftretenden hohen Oberschwingungsströme oder -spannungen können einerseits die Kompensationsanlage überlasten, andererseits besteht die Gefahr, dass unzulässig hohe Oberschwingungen ins Netz gespeist werden. Abhilfe schaffen hier verdrosselte oder gesperrte Kompensationsanlagen.

Bei allen verdrosselten Kompensationsanlagen ist darauf zu achten, dass die Resonanzfrequenz des nunmehr entstandenen Schwingkreises einen ausreichenden Abstand zur Rundsteuerfrequenz des Verteilungsnetzbetreibers (München und Moosburg 217 Hz) einhält. Dies ist dann gewährleistet, wenn die Anlage bei der entsprechenden Rundsteuerfrequenz eine genügend hohe Impedanz einhält. In der Regel wird diese Impedanz bei einem Reaktanzverhältnis von  $p = 14\%$  (Verdrosselung) erreicht. Hierbei ist gewährleistet, dass oberhalb 134 Hz keine von der Kompensationsanlage verursachten Resonanzen auftreten. Verdrosselte **und** mit Sperrkreis ausgerüstete Anlagen müssen sehr genau abgestimmt werden, da der Sperrkreis die Serienresonanzen verändert (Gefahr von Resonanzen mit Oberschwingungen).

Hinweise für die Auswahl der Kompensationsanlage unter Berücksichtigung von Oberschwingungen können aus der Übersicht auf Seite 9 entnommen werden.

## 5. Tabelle

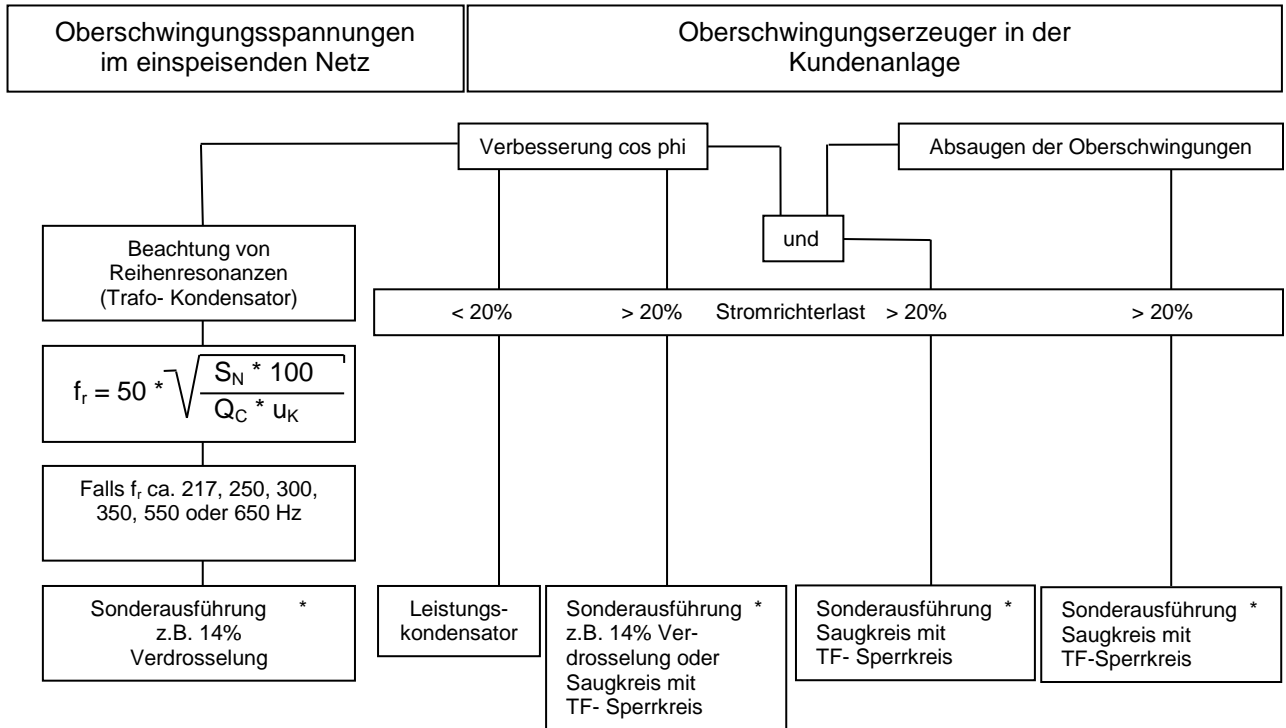
Umrechnungszahlen (tan  $\varphi_1$  - tan  $\varphi_2$  )

bei gegebenem		verlangter Leistungsfaktor										
		COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$	COS $\varphi_2$
<b>tan <math>\varphi_1</math></b>	<b>cos <math>\varphi_1</math></b>	<b>= 0,70</b>	<b>= 0,75</b>	<b>= 0,80</b>	<b>= 0,82</b>	<b>= 0,85</b>	<b>= 0,87</b>	<b>= 0,90</b>	<b>= 0,92</b>	<b>= 0,95</b>	<b>= 0,97</b>	<b>= 1,00</b>
4,90	0,20	3,88	4,02	4,15	4,20	4,28	4,33	4,41	4,47	4,57	4,65	4,90
3,87	0,25	2,85	2,99	3,12	3,17	3,25	3,31	3,39	3,45	3,54	3,62	3,87
3,18	0,30	2,16	2,30	2,43	2,48	2,56	2,61	2,70	2,75	2,85	2,93	3,18
2,68	0,35	1,66	1,79	1,93	1,98	2,06	2,11	2,19	2,25	2,35	2,43	2,68
2,29	0,40	1,27	1,41	1,54	1,59	1,67	1,72	1,81	1,87	1,96	2,04	2,29
2,16	0,42	1,14	1,28	1,41	1,46	1,54	1,59	1,68	1,74	1,83	1,91	2,16
2,04	0,44	1,02	1,16	1,29	1,34	1,42	1,47	1,56	1,62	1,71	1,79	2,04
1,93	0,46	0,91	1,05	1,18	1,23	1,31	1,36	1,45	1,50	1,60	1,68	1,93
1,83	0,48	0,81	0,95	1,08	1,13	1,21	1,26	1,34	1,40	1,50	1,58	1,83
1,73	0,50	0,71	0,85	0,98	1,03	1,11	1,17	1,25	1,31	1,40	1,48	1,73
1,64	0,52	0,62	0,76	0,89	0,94	1,02	1,08	1,16	1,22	1,31	1,39	1,64
1,56	0,54	0,54	0,68	0,81	0,86	0,94	0,99	1,07	1,13	1,23	1,31	1,56
1,48	0,56	0,46	0,60	0,73	0,78	0,86	0,91	1,00	1,05	1,15	1,23	1,48
1,40	0,58	0,38	0,52	0,65	0,71	0,78	0,84	0,92	0,98	1,08	1,15	1,40
1,33	0,60	0,31	0,45	0,58	0,64	0,71	0,77	0,85	0,91	1,00	1,08	1,33
1,27	0,62	0,25	0,38	0,52	0,57	0,65	0,70	0,78	0,84	0,94	1,01	1,27
1,20	0,64	0,18	0,32	0,45	0,50	0,58	0,63	0,72	0,77	0,87	0,95	1,20
1,14	0,66	0,12	0,26	0,39	0,44	0,52	0,57	0,65	0,71	0,81	0,89	1,14
1,08	0,68	0,06	0,20	0,33	0,38	0,46	0,51	0,59	0,65	0,75	0,83	1,08
1,02	0,70	-	0,14	0,27	0,32	0,40	0,45	0,54	0,59	0,69	0,77	1,02
0,96	0,72		0,08	0,21	0,27	0,34	0,40	0,48	0,54	0,63	0,71	0,96
0,91	0,74		0,03	0,16	0,21	0,29	0,34	0,42	0,48	0,58	0,66	0,91
0,86	0,76		-	0,11	0,16	0,24	0,29	0,37	0,43	0,53	0,60	0,86
0,80	0,78			0,05	0,10	0,18	0,24	0,32	0,38	0,47	0,55	0,80
0,75	0,80			-	0,05	0,13	0,18	0,27	0,32	0,42	0,50	0,75
0,70	0,82				-	0,08	0,13	0,21	0,27	0,37	0,45	0,70
0,65	0,84					0,03	0,08	0,16	0,22	0,32	0,40	0,65
0,59	0,86					-	0,03	0,11	0,17	0,26	0,34	0,59
0,54	0,88						-	0,06	0,11	0,21	0,29	0,54
0,48	0,90							-	0,06	0,16	0,23	0,48
0,43	0,92								-	0,10	0,18	0,43
0,36	0,94									0,03	0,11	0,36
0,29	0,96									-	0,01	0,29
0,20	0,98										-	0,20



## 6. Übersicht

Auswahl der Kompensationsanlage bei Berücksichtigung von Oberschwingungen



$f_r$  = Resonanzfrequenz [Hz]  
 $S_N$  = Trafoleistung [kVA]  
 $Q_C$  = Kondensatorleistung [kVAr]  
 $u_K$  = Kurzschlussspannung [%]

**Hinweis:** Unverdrosselte Regelanlagen dürfen nicht parallel mit verdrosselten Regleinheiten betrieben werden.

\* In diesen Fällen bitte Rücksprache mit der SWM Infrastruktur GmbH

Die Angaben gelten für TRA- Frequenzen kleiner / gleich 300Hz (München und Moosburg 217 Hz)

