

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Anschlusszenario I, Variante I, 30kV .....	2
1.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei installierter Leistung .....	2
1.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei installierter Leistung .....	3
1.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	4
1.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	5
1.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei Schwachlast .....	6
2. Anschlusszenario I, Variante II, 110kV .....	7
2.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei installierter Leistung .....	7
2.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei installierter Leistung .....	8
2.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	9
2.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	10
2.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei Schwachlast .....	11
3. Anschlusszenario II, Variante III, 30kV .....	12
3.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei installierter Leistung .....	12
3.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei installierter Leistung .....	13
3.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	14
3.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	15
3.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei Schwachlast .....	16
4. Anschlusszenario II, Variante IV, 110kV .....	17
4.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei installierter Leistung .....	17
4.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei installierter Leistung .....	18
4.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	19
4.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung .....	20
4.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei Schwachlast .....	21

## 1. Anschlussszenario I, Variante I, 30kV

Der angegebene Strom von  $(1327,3-j436,3)A$  ist der Tabelle 3 der Bachelorarbeit entnommen worden. Dieser Strom ist bei einem Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95_{\text{ind}}$  berechnet worden. Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu  $1397,2A$ .

### 1.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j54A + (1327,3A - j436,3A)$$

$$I_B = (1327,3A - j382,3A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-382,3A}{1327,3A}\right) = -17,85^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-17,85^\circ) = 0,961$$

Überprüfung der minimalen Einstellbarkeit des Leistungsfaktors:

$$I_w = 1397,2A * 0,87 = 1215,6A$$

$$I_b = 1397,2A * 0,493 = 688,8A$$

$$I_B = j54A + (1215,6A - j688,8)$$

$$I_B = (1215,6A - j634,8A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-634,8A}{1215,6A}\right) = -30,64^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-30,64^\circ) = 0,886_{\text{ind}}$$

Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage. Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j54A - (1327,3A - j436,3A)$$

$$I_B = (1327,3A - j490,3A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-490,3A}{1327,3A}\right) = -22,53^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-22,53^\circ) = 0,938_{\text{ind}}$$

einzustellen. Dies ist, wie durch die Überprüfung festgestellt wurde, möglich.

## 1.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ kap. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j54A + (1327,3A + j436,3A)$$

$$I_B = (1327,3A + j490,3A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{490,3A}{1327,3A}\right) = 22,52^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(22,52^\circ) = 0,938_{\text{kap.}}$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j54A + (1327,3A + j436,3A)$$

$$I_B = (1327,3A + j382,3A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{382,3A}{1327,3A}\right) = 17,85^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(17,85^\circ) = 0,961_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 1.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 372,75A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j54A + (354,11A - j116,4A)$$

$$I_B = (354,11A - j62,4A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-62,4A}{354,11A}\right) = -11,1^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-11,1^\circ) = 0,984_{\text{ind.}}$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j54A + (354,11A - j116,4A)$$

$$I_B = (354,11A - j170,4A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-170,4A}{354,11A}\right) = 28,55^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(28,55^\circ) = 0,901_{\text{ind.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

#### 1.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j54A + (354,11A + j116,4A)$$

$$I_B = (354,11A + j170,4A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{170,4A}{354,11A}\right) = 28,55^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(28,55^\circ) = 0,901_{\text{kap.}}$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j54A - (354,11A + j116,4A)$$

$$I_B = (354,11A + j62,4A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{62,4A}{354,11A}\right) = 11,1^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(11,1^\circ) = 0,984_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

## 1.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei Schwachlast

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 7,35A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j54A + (6,98A - j2,3A)$$

$$I_B = (6,98A + j51,7A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{51,7A}{6,98A}\right) = 91,45^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(91,45^\circ) = 0,134_{\text{kap.}}$$

Auf eine weitere Betrachtung zur Überprüfung soll verzichtet werden. Der Leistungsfaktor ist bei Schwachlast nicht einzuhalten, es wird eine Kompensation notwendig. Da prinzipiell davon ausgegangen werden kann das diese Problem auch bei den Anschlussvarianten III und IV, vor allem bei mittlerer erzeugter Leistung, soll der Transformator am Netzanschlusspunkt untersucht werden. Dieser hat einen kapazitiven Leistungsbedarf um seine Streu- und Magnetisierungsinduktivitäten zu decken. Es soll daher untersucht werden ob der Transformator den Ladestrom, gemäß Gl.72 aufnehmen kann.

$$I_{CT0} = \frac{\sqrt{3} * Q_0}{3 * U_N} = \frac{\sqrt{3} * 3,2\text{MVar}}{3 * 30\text{kV}} = 61,58A$$

Die beiden Transformatoren können also einen kapazitiven Blindstrom von 62A aufnehmen. Der Ladestrom entspricht etwa 88% dieses kapazitiven Blindstrombedarfs. Also ist auch für Schwachlast keine Kompensation notwendig. Diese Erkenntnis wiederum hat auch auf die bisherigen Berechnungen des Leistungsfaktors Einfluss. Der Ladestrom verringert sich auf etwa 12%, dadurch lässt sich der Leistungsfaktor besser übertragen, es sind weniger regelbare Windkraftanlagen notwendig.

## 2. Anschlussszenario I, Variante II, 110kV

Der angegebene Strom von  $(362,2-j119,1)A$  ist der Tabelle 3 der Bachelorarbeit entnommen worden. Dieser Strom ist bei einem Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95_{\text{ind.}}$  berechnet worden. Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich laut Anlage I zu  $381,3A$ .

### 2.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j30,13A + (362,2A - j119,1A)$$

$$I_B = (362,2A - j88,98A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-88,98A}{362,2A}\right) = -13,9^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-13,9^\circ) = 0,971$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j30,13A + (362,2A - j119,1A)$$

$$I_B = (362,2A - j149,23A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-149,23A}{362,2A}\right) = -24,88^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-24,88^\circ) = 0,925_{\text{ind.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

## 2.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ kap. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j30,13A + (362,2A + j119,1A)$$

$$I_B = (362,2A + j149,23A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{149,23A}{362,2A}\right) = 24,88^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(24,88^\circ) = 0,924$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j30,13A + (362,2A + j119,1A)$$

$$I_B = (362,2A + 88,98A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{88,98A}{362,2A}\right) = 15,33^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(15,33^\circ) = 0,971_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 2.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 101,66A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j30,13A + (96,58A - j31,72A)$$

$$I_B = (96,58A - j1,59A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-1,59A}{96,58A}\right) = -1,05^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-1,05^\circ) = 0,99986$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j30,13A + (96,58A - j31,72A)$$

$$I_B = (96,58A - j61,85A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-61,85A}{96,58A}\right) = -46,26^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-46,26^\circ) = 0,75_{\text{ind.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt nicht in der Regelbarkeit der Windkraftanlage. Wie später im Punkt 2.5 betrachtet verringert sich der Ladestrom durch den kapazitiven Blindleistungsbedarf des Transformators. Der kapazitive Ladestrom verringert sich auf 13,33A. Der einzustellende Leistungsfaktor soll mit diesem Parameter noch einmal überprüft werden.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j13,33A + (96,58A - j31,72A)$$

$$I_B = (96,58A - j45,05A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-45,05A}{96,58A}\right) = -27,78^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-27,78^\circ) = 0,906_{\text{ind.}}$$

Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

## 2.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung

Aus der Erkenntnis die in Punkt 2.3 gewonnen wurde, wird die nachfolgende Betrachtung des Leistungsfaktors von vornerein mit dem, durch den Transformator, verringerten Ladestrom berechnet.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j13,33A + (96,58A + j31,72A)$$

$$I_B = (96,58A + j45,05A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{45,05A}{96,58A}\right) = 27,78^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(27,78^\circ) = 0,906$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j13,33A + (96,58A + j18,39A)$$

$$I_B = (96,58A + j18,39A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{18,39A}{96,58A}\right) = 11,97^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(11,97^\circ) = 0,982_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

## 2.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei Schwachlast

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 2,01A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j30,13A + (1,9A - j0,63A)$$

$$I_B = (1,9A + j29,44A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{29,44A}{1,9A}\right) = 95,89^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(95,89^\circ) = 0,064_{\text{kap.}}$$

Auf eine weitere Betrachtung zur Überprüfung soll verzichtet werden. Der Leistungsfaktor ist bei Schwachlast nicht einzuhalten, es wird eine Kompensation notwendig. Da prinzipiell davon ausgegangen werden kann das diese Problem auch bei den Anschlussvarianten III und IV, vor allem bei mittlerer erzeugter Leistung, soll der Transformator am Netzanschlusspunkt untersucht werden. Dieser hat einen kapazitiven Leistungsbedarf um seine Streu- und Magnetisierungsinduktivitäten zu decken. Es soll daher untersucht werden ob der Transformator den Ladestrom, gemäß Gl.72 aufnehmen kann.

$$I_{CT0} = \frac{\sqrt{3} * Q_0}{3 * U_N} = \frac{\sqrt{3} * 3,2MVar}{3 * 110kV} = 16,8A$$

Die beiden Transformatoren können also einen kapazitiven Blindstrom von 16,8A aufnehmen. Der Ladestrom entspricht etwa 175% dieses kapazitiven Blindstrombedarfs. Für Schwachlast ist eine Kompensation von 800kVAr notwendig. Dies ist für die wirtschaftliche Betrachtung eine zusätzliche Größe, für die Anschlusskosten sind weitere 300.000 € einzuplanen. Diese Erkenntnis wiederum hat auch auf die bisherigen Berechnungen des Leistungsfaktors Einfluss. Der Ladestrom verringert sich auf etwa 45%, dadurch lässt sich der Leistungsfaktor besser übertragen, es sind weniger regelbare Windkraftanlagen notwendig.

### 3. Anschlussszenario II, Variante III, 30kV

Der angegebene Strom von  $(3983,6 - j1308,3)A$  ist der Tabelle 3 der Bachelorarbeit entnommen worden. Dieser Strom ist bei einem Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95_{\text{ind.}}$  berechnet worden. Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich laut Anlage I zu  $4192,9A$ .

#### 3.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j162A + (3983A - j1308A)$$

$$I_B = (3983A - j1146A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-1146A}{3983A}\right) = -17,84^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-17,84^\circ) = 0,961$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j162A + (3983A - j1308A)$$

$$I_B = (3983A - j1470A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-1470A}{3983A}\right) = -22,5^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-22,5^\circ) = 0,938_{\text{ind.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 3.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j162A + (3983A + j1308A)$$

$$I_B = (3983A + j1470A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{1470A}{3983A}\right) = 22,5^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(22,5^\circ) = 0,938$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j162A + (3983A + j1308A)$$

$$I_B = (3983A + j1146A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{1146A}{3983A}\right) = 17,83^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(17,83^\circ) = 0,961_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 3.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 1118A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j162A + (1062A - j349A)$$

$$I_B = (1062A - j187A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-187A}{1062A}\right) = -11,1^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-11,1^\circ) = 0,985$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j162A + (1062A - j349A)$$

$$I_B = (1062A - j511A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-511A}{1062A}\right) = -28,55^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-22,5^\circ) = 0,901_{\text{ind.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 3.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j162A + (1062A + j349A)$$

$$I_B = (1062A + j511A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{511A}{1062A}\right) = 28,55^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(28,55^\circ) = 0,901$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j162A + (1062A + j349A)$$

$$I_B = (1062A + j187A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{187A}{1062A}\right) = 11,1^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(11,1^\circ) = 0,985_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 3.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei Schwachlast

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 22,06A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j162A + (20,95A - j6,89A)$$

$$I_B = (20,95A + j155,11A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{155,11A}{20,95A}\right) = 91,45^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(91,45^\circ) = 0,133_{\text{kap.}}$$

Auf eine weitere Betrachtung zur Überprüfung soll verzichtet werden. Der Leistungsfaktor ist bei Schwachlast nicht einzuhalten, es wird eine Kompensation notwendig. Da prinzipiell davon ausgegangen werden kann das diese Problem auch bei den Anschlussvarianten III und IV, vor allem bei mittlerer erzeugter Leistung, auftritt soll der Transformator am Netzanschlusspunkt untersucht werden. Dieser hat einen kapazitiven Leistungsbedarf um seine Streu- und Magnetisierungsinduktivitäten zu decken. Es soll daher untersucht werden ob der Transformator den Ladestrom aufnehmen kann.

Die Berechnung erfolgt über die Überlegung der Dielektrischen Verlustleistung, Gl.55. Die dielektrische Verlustleistung würde hierfür für ein Kabel berechnet. Für ein Drehstromsystem ergibt sich mit dieser Überlegung:

$$Q_{CL} = 3 * Q_{C\delta}$$

Da die dielektrische Verlustleistung mit einer Leiter-Erdespannung  $U_0$  berechnet wurde, also für ein Kabel, ergibt sich dann die folgende Gleichung für Drehstrom:

$$Q_0 = 3 * \frac{U_N}{\sqrt{3}} * I_{CT0}$$

Möchte man also den kapazitiven Strom aus der Ladeleistung berechnen ergibt sich die nachfolgende Berechnung:

$$I_{CT0} = \frac{\sqrt{3} * Q_0}{3 * U_N} = \frac{\sqrt{3} * 8MVar}{3 * 30kV} = 153,96A$$

Die beiden Transformatoren können also einen kapazitiven Blindstrom von 153,96A aufnehmen. Der Ladestrom entspricht etwa 105% dieses kapazitiven Blindstrombedarfs. Die restlichen 5% lassen sich über die Windkraftanlagen ausregeln Diese Erkenntnis wiederum hat auch auf die bisherigen Berechnungen des Leistungsfaktors Einfluss. Der Ladestrom verringert sich auf etwa 5%, dadurch lässt sich der Leistungsfaktor besser übertragen, es sind weniger regelbare Windkraftanlagen notwendig.

#### 4. Anschlussszenario II, Variante IV, 110kV

Der angegebene Strom von  $(1049-j344,8)A$  ist der Tabelle 3 der Bachelorarbeit entnommen worden. Dieser Strom ist bei einem Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95_{\text{ind}}$  berechnet worden. Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich laut Anlage I zu  $1104A$ .

##### 4.1 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ ind. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j104A + (1049A - j344,8A)$$

$$I_B = (1049A - j240,8A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-240,8A}{1049A}\right) = -14,37^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-14,37^\circ) = 0,975$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j104A + (1049A - j344,8A)$$

$$I_B = (1049A - j448,8A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{-448,8A}{1049A}\right) = -25,74^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-25,74^\circ) = 0,919_{\text{ind}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

#### 4.2 Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,95$ kap. bei installierter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j104A + (1049A + j344,8A)$$

$$I_B = (1049A + j448,8A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{448,8A}{1049A}\right) = 25,74^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(25,74^\circ) = 0,919$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi = 0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j104A + (1049A + j344,8A)$$

$$I_B = (1049A + j240,8A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{240,8A}{1049A}\right) = 14,37^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(14,37^\circ) = 0,975_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

### 4.3 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei mittlerer erzeugter Leistung

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 304,97A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j104A + (289,7A - j95,15A)$$

$$I_B = (289,7A + j8,85A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{8,85A}{289,7A}\right) = 1,94^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-11,1^\circ) = 0,9995_{\text{kap}}$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  ind. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j104A + (289,7A - j95,15A)$$

$$I_B = (289,7A - j199,15A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-199,15A}{289,7A}\right) = -38,34^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-38,34^\circ) = 0,824_{\text{ind.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt nicht in der Regelbarkeit der Windkraftanlage. Wie später im Punkt 4.5 betrachtet verringert sich der Ladestrom durch den kapazitiven Blindleistungsbedarf des Transformators. Der kapazitive Ladestrom verringert sich auf 62A. Der einzustellende Leistungsfaktor soll mit diesem Parameter noch einmal überprüft werden.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = -j62A + (289,7A - j95,15A)$$

$$I_B = (289,7A - j157,15A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{-157,15A}{289,7A}\right) = -31,64^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(-31,64^\circ) = 0,879_{\text{ind.}}$$

Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

#### 4.4 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ kap. bei mittlerer erzeugter Leistung

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = j62A + (289,7A + j95,15A)$$

$$I_B = (289,7A + j157,15A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{157,15A}{289,7A}\right) = 31,64^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(31,64^\circ) = 0,879_{\text{kap.}}$$

Um den Leistungsfaktor  $\cos\varphi=0,95$  kap. zu übertragen ist die Windkraftanlage auf

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w + jI_b)$$

$$I_B = -j62A + (289,7A + j95,15A)$$

$$I_B = (289,7A + j33,15A)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{33,15A}{289,7A}\right) = 7,25^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(7,25^\circ) = 0,9935_{\text{kap.}}$$

einzustellen. Der Leistungsfaktor bleibt in der Regelbarkeit der Windkraftanlage.

#### 4.5 Leistungsfaktor $\cos\varphi=0,95$ ind. bei Schwachlast

Der jeweilige komplexe Gesamtstrom ergibt sich aus Anlage I zu 6,02A.

$$I_B = jI_{CL\_VP} + (I_w - jI_b)$$

$$I_B = j62A + (5,72A - j1,88A)$$

$$I_B = (5,72A + j60,12A)$$

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{60,12A}{5,72A}\right) = 93,96^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(93,96^\circ) = 0,094_{\text{kap.}}$$

Auf eine weitere Betrachtung zur Überprüfung soll verzichtet werden. Der Leistungsfaktor ist bei Schwachlast nicht einzuhalten, es wird eine Kompensation notwendig. Da prinzipiell davon ausgegangen werden kann das diese Problem auch bei den Anschlussvarianten III und IV, vor allem bei mittlerer erzeugter Leistung, auftritt soll der Transformator am Netzanschlusspunkt untersucht werden. Dieser hat einen kapazitiven Leistungsbedarf um seine Streu- und Magnetisierungsinduktivitäten zu decken. Es soll daher untersucht werden ob der Transformator den Ladestrom aufnehmen kann.

Die Berechnung erfolgt über die Überlegung der Dielektrischen Verlustleistung, Gl.55. Die dielektrische Verlustleistung würde hierfür für ein Kabel berechnet. Für ein Drehstromsystem ergibt sich mit dieser Überlegung:

$$Q_{CL} = 3 * Q_{C\delta}$$

Da die dielektrische Verlustleistung mit einer Leiter-Erdespannung  $U_0$  berechnet wurde, also für ein Kabel, ergibt sich dann die folgende Gleichung für Drehstrom:

$$Q_0 = 3 * \frac{U_N}{\sqrt{3}} * I_{CT0}$$

Möchte man also den kapazitiven Strom aus der Ladeleistung berechnen ergibt sich die nachfolgende Berechnung:

$$I_{CT0} = \frac{\sqrt{3} * Q_0}{3 * U_N} = \frac{\sqrt{3} * 8\text{MVar}}{3 * 110\text{kV}} = 41,98\text{A}$$

Die beiden Transformatoren können also einen kapazitiven Blindstrom von 41,98A aufnehmen. Der Ladestrom entspricht etwa 247% dieses kapazitiven Blindstrombedarfs. Diese Erkenntnis wiederum hat auch auf die bisherigen Berechnungen des Leistungsfaktors Einfluss. Der Ladestrom verringert sich auf etwa 120%, dadurch lässt sich der Leistungsfaktor besser übertragen, es sind weniger regelbare Windkraftanlagen notwendig allerdings auch eine Kompensationsanlage.