

Interpretation von P-Q-Wolken als Hilfsmittel zur Bewertung von Mittelspannungsnetzen

M.Sc. Matthias Haslbeck, B.Eng. Bettina Vogl, Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH Regensburg)

Seybothstr. 2, 93053 Regensburg

Tel.: 0941 943-9887, -9881

E-Mail: matthias.haslbeck@oth-regensburg.de, bettina1.vogl@oth-regensburg.de,
oliver.brueckl@oth-regensburg.de

www.oth-regensburg.de

1. Motivation und Zielsetzung

Zwischen Übertragungs-/Verteilungsnetzbetreibern bestehen Vereinbarungen in Form von Verträgen und Richtlinien (z.B. DCC), die das zulässige Wirk- und Blindleistungs-Verhalten (P-Q-Verhalten) beschreiben. Beim Blindleistungsverhalten werden i. d. R. zulässige $\cos\varphi$ -Bereiche definiert. Typische Werte sind hierfür $\cos\varphi \leq 0,95$ für den I. und II. Quadranten sowie $\cos\varphi \leq 0,925$ für den III. Quadranten. Der IV. Quadrant ist unzulässig. Netzstruktur, Verbraucher und Erzeuger beeinflussen das P-Q-Verhalten, weshalb die Einhaltung der $\cos\varphi$ -Grenzwerte bei sich ändernden Faktoren zu prüfen und ggf. Gegenmaßnahmen (z. B. Installation von Kompensationsdrosseln) zu ergreifen sind.

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, geeignete Parameter zu identifizieren und zu beschreiben, die einen Einfluss auf das P-Q-Verhalten und damit auf die Form der P-Q-Wolke einer MS-Netzgruppe (MS-NG) aufweisen. Abbildung 1 zeigt eine beispielhafte P-Q-Wolke. Um die P-Q-Wolken verschiedener MS-Netze vergleichbar zu machen, wurden die P- und Q-Werte auf die jeweilige Bemessungsleistung der versorgenden Umspannwerktransformatoren (UWT) normiert (diese beträgt einheitlich 40 MVA). Die P-Q-Wolke besteht dabei aus allen ¼-h-Messwerten der

Summenlast am UWT innerhalb eines Jahres. Als Linien angedeutet sind beispielhaft zulässige $\cos\varphi$ -Grenzen je Quadrant.

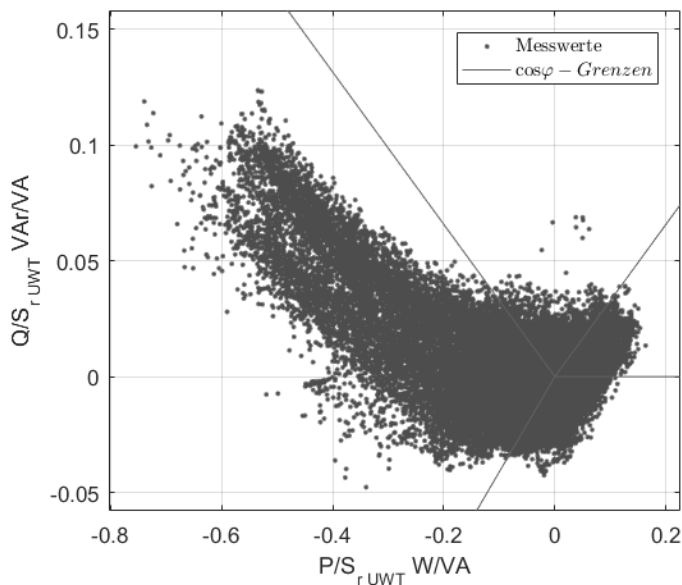


Abbildung 1: Beispielhaft P-Q-Wolke mit typischen $\cos\varphi$ -Grenzwerten

2. Datengrundlage und Methodik

Als Datengrundlage dienen 13 MS-NG aus dem Forschungsprojekt „Systemoptimierendes Netz- und Energiemanagement für Verteilungsnetze der Zukunft“ (SyNERgie), welches vom BMWi gefördert wird. Die MS-Netze versorgen sowohl ländliche als auch städtische Bereiche, was sich in den Strukturparametern widerspiegelt. Charakteristisch für den städtischen Bereich ist ein hoher Verkabelungsgrad und wenige dezentrale EZA, wie Photovoltaik-Anlagen und Windenergie-Anlagen, jedoch ein hoher industrieller Anteil insbesondere am Stadtrand. Im ländlichen Bereich hingegen sind die Leitungen meist als Freileitungen ausgeführt und es zeigt sich ein hoher EZA-Anteil und ein niedriger industrieller Anteil. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Parameter max. Leistungsaufnahme der Lasten und installierte EZA-Leistung normiert auf die Bemessungsleistung des UWT je NG. Für die Auswertung der P-Q-Wolken werden diese vertikal in 9 P-Klassen von links nach rechts unterteilt und der jeweilige $\tan\varphi$ -Bereich ($\tan\varphi = Q/P$) ausgewertet. Die mittlere Klasse, welche den Bereich um den Ursprung umfasst, wird dabei ausgespart, da hier der $\tan\varphi$ undefiniert ist bzw. sehr hohe Werte annimmt. Der $\tan\varphi$ -

Bereich je Klasse wird dabei über den 2,5%- und 97,5%-Wert einer angenäherten Normalverteilung je P-Klasse beschrieben und wird verwendet um zwischen induktiven (pos. Werte) und kapazitiven (neg. Werte) Verhalten differenzieren zu können. Die Werte des II. und III. Quadranten werden dazu negiert.

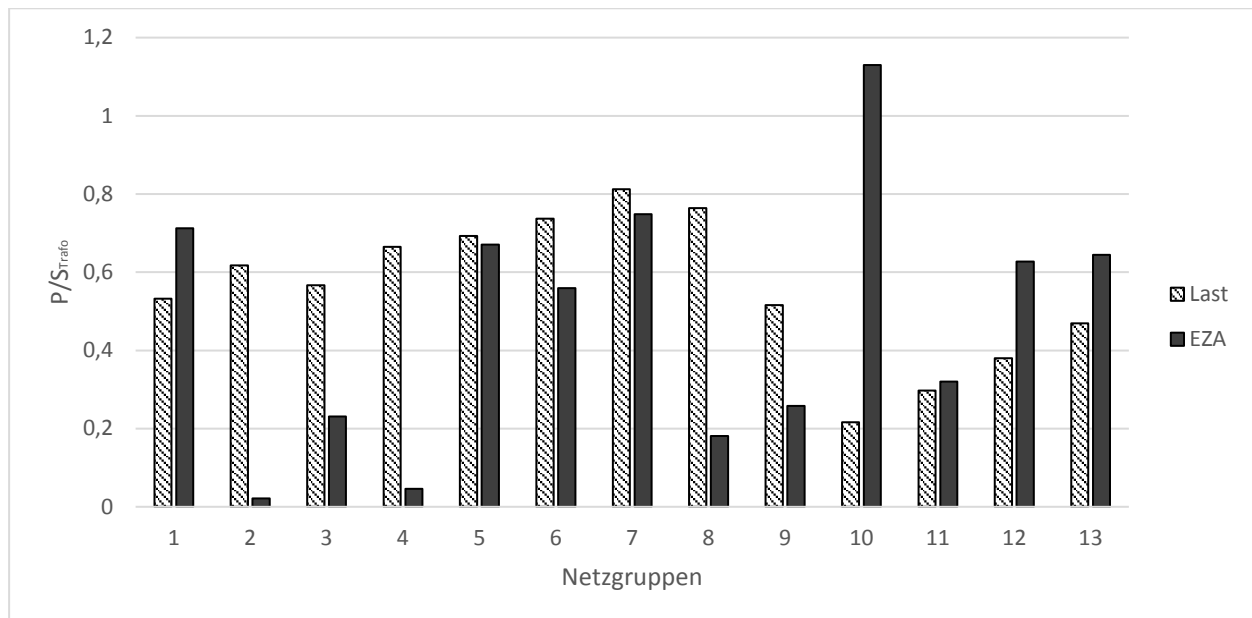


Abbildung 2: normierte max. Last und installierte EZA-Leistung je Netzgruppe

Die $\tan\phi$ -Werte der verbleibenden 8 P-Klassen werden anschließend mit 12 verschiedenen Strukturparametern der jeweiligen NG verknüpft. Abschließend werden die 192 Datensätze (8 P-Klassen, 2 $\tan\phi$ -Werte je Klasse, 12 Strukturparameter) über eine Polynomfunktion 2. Grades beschrieben und anhand des mittleren Fehlers geeignete Parameter sowie deren Polynomkoeffizient für die Beschreibung des P-Q-Verhaltens bestimmt. Folgende Strukturparameter werden untersucht: Netzlänge, Verkabelungsgrad, Anzahl an MS-Abgängen, installierte PV-Leistung, max. Leistungsaufnahme der Lasten, installierte EZA-Leistung, Anzahl an 20/0,4-kV-Transformatoren, installierte EZA-Leistung bezogen auf die max. Leistungsaufnahme der Lasten (DDG), installierte PV-Leistung bezogen auf die max. Leistungsaufnahme der Lasten, Netzlänge bezogen auf Anzahl an MS-Abgängen, Netzlänge bezogen auf Anzahl an 20/0,4-kV-Transformatoren und max. Leistungsaufnahme der Lasten bezogen auf Anzahl an 20/0,4-kV-Transformatoren.

3. Ergebnisse

Der mittlere Fehler der Polynomfunktion zur Beschreibung der $\tan\phi$ -Grenzwerte je P-Klasse in Abhängigkeit eines Netzstrukturparameters ist in Abbildung 3 dargestellt. Ausgewählt wurden hier die Parameter max. Wirkleistungsaufnahme der Lasten (1), DDG (2) und Netzlänge bezogen auf die Anzahl der Ortsnetzstationen (3). In der P-Klasse -50..-75 finden sich keine Werte, da hierfür nur 3 NG als Stützstellen zur Verfügung stehen. Trotz der relativ hohen mittleren Fehler ist ein qualitatives Ranking der Parameter möglich. So eignet sich Parameter 1 besonders zur Beschreibung des P-Q-Verhaltens im I. und IV. Quadranten (positive P-Klassen) sowie des max. $\tan\phi$ -wertes im III. und IV. Quadranten. Parameter 3 beschreibt am besten die min. $\tan\phi$ -Werte im III. und IV. Quadranten. Der Parameter 2 „DDG“ weist widererwartend einen höheren Fehler auf.

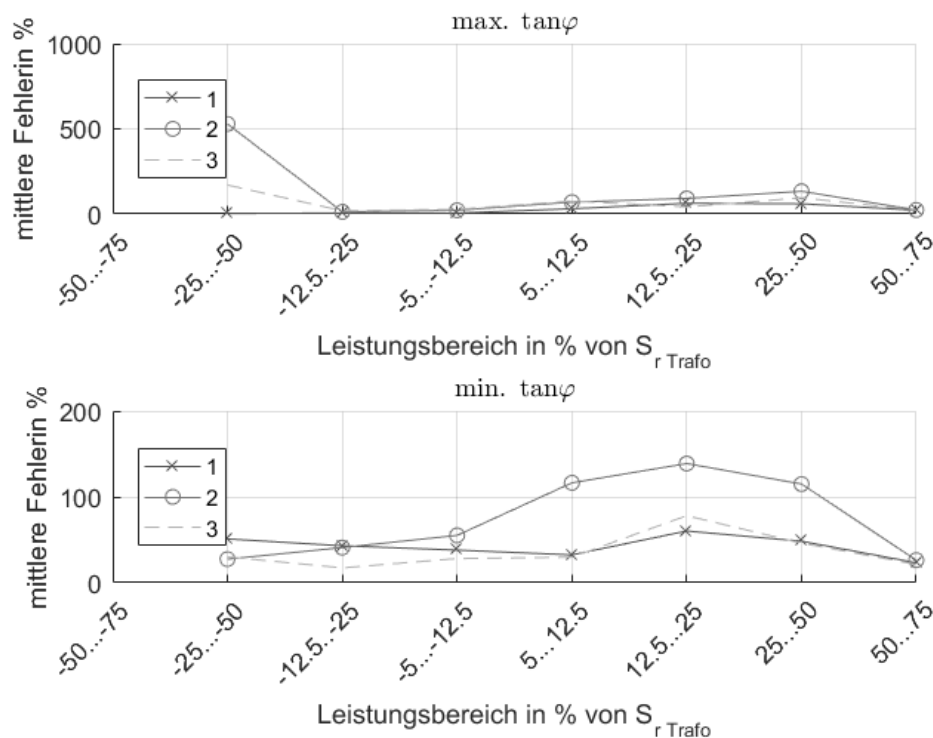


Abbildung 3: mittlerer Fehler der $\tan\phi$ (Strukturparameter)-Regression je Klasse

Die Polynom-Koeffizienten von $y=a+bx+cx^2$ (oben) und der resultierende $\tan\phi$ -Bereich (unten) sind in Abbildung 4 für Parameter 1 „P Last“ beschrieben. Der Gültigkeitsbereich von Parameter 1 liegt dabei zwischen 8,5 und 32 MW. Linien mit

x beschreiben a, mit o b und * c. Durchgezogene Linien stehen für max. $\tan\phi$ -Werte und gestrichelte für die min. $\tan\phi$ -Werte. Im unteren Bereich ist die $\tan\phi$ -Bandbreite ersichtlich. Durchgezogene Linien beschreiben den Bereich des max. $\tan\phi$ und gestrichelte den Minimalen. Je nach Parameter „P Last“ ergibt sich ein zusammengehöriges Punktepaar aus den beiden Bereichen. Zu erkennen ist, dass die min. $\tan\phi$ -Werte im Bereich 5 bis 50% je nach Parameter-Wert durchwegs kapazitiv sein können und somit der „verbotene“ IV. Quadrant auftritt. Bei den max. $\tan\phi$ -Werten wird ein Wert von 0,21 nicht überschritten, was ca. einem induktiven $\cos\phi$ von 0,95 entspricht. Die induktiven Grenzwerte sind somit parametunabhängig einhaltbar.

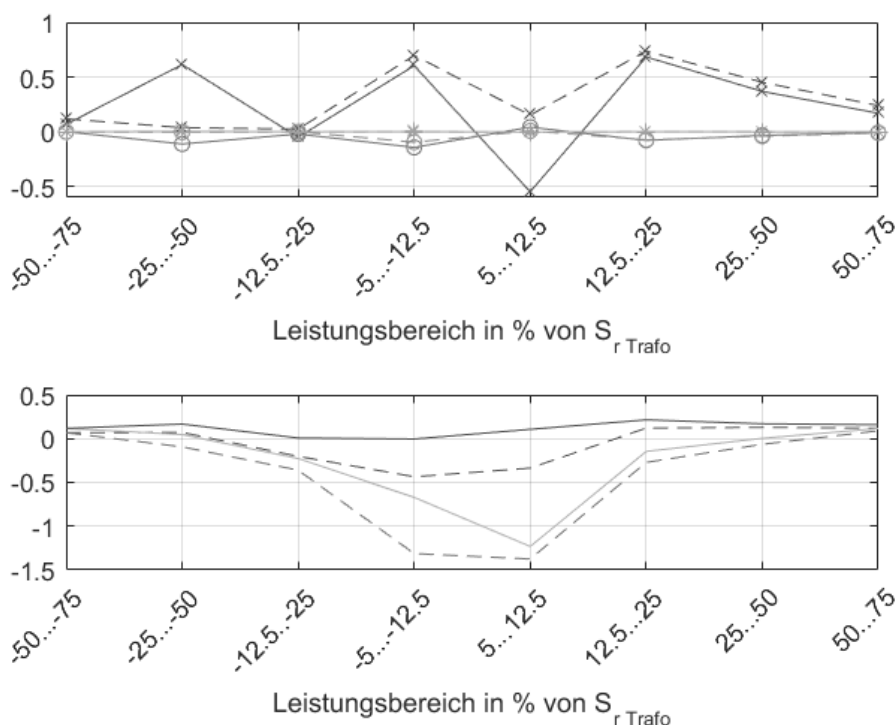


Abbildung 4: Koeffizienten und $\tan\phi$ -Bereich von Parameter 1 „P Last“

Der $\tan\phi$ strebt an den Rändern gegen einen Wert von +0,12 (induktives Q beträgt 12% der Wirkleistung). Vor allem in den kleinen P-Klassen werden betragsmäßig deutlich höhere und kapazitive Werte erreicht (bis zu -1,23). Der funktionale Zusammenhang zwischen \cos - und \tan -Funktion ist in Abbildung 5 dargestellt. Zu erkennen ist, dass ab einem $\tan\phi$ von 0,33 ein $\cos\phi$ von 0,95, und ab 0,4 ein $\cos\phi$ von 0,925 unterschritten wird. Dies führt letztendlich zu der Erkenntnis, dass die bisher üblichen $\cos\phi$ -Grenzwerte vor allem bei genauer Betrachtung der $\frac{1}{4}$ -h-

Mittelwerte in den P-Klassen -12,5 bis 12,5% nicht ohne Zusatzmaßnahmen einzuhalten sind, da selbst der parameterabhängige Maximalwert des min. $\tan\varphi$ -Wertes je Klasse über 0,4 liegt.

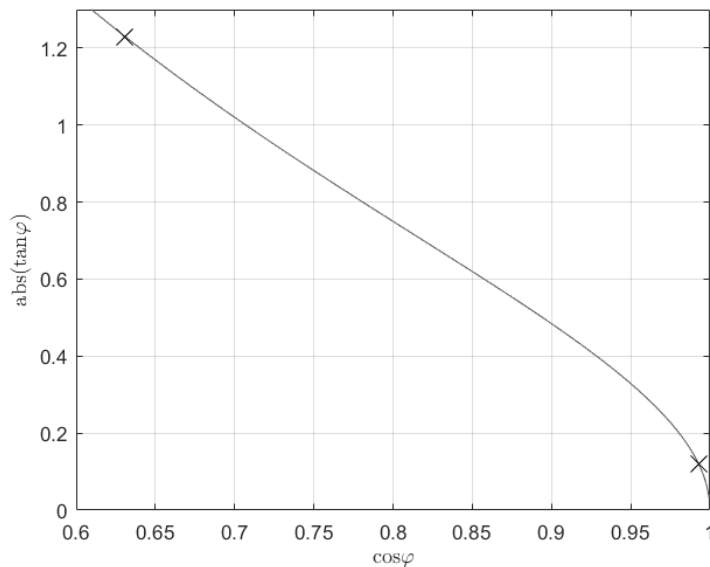


Abbildung 5: Funktionaler Zusammenhang cos und tan

4. Fazit

Die Auswertung zeigt, dass das P-Q-Verhalten von MS-Netzen über Netzstrukturparameter beschreibbar ist. Als besonders geeignet erscheinen dabei der max. Leistungsbezug der Lasten und das Verhältnis von Netzlänge zur Anzahl der Ortsnetzstationen. Weiter wurde gezeigt, dass die Einhaltung der typischen induktiven $\cos\varphi$ -Grenzwerte gegeben ist. Der Bereich von $\pm 5\%$ um den Ursprung und die Einhaltung der kapazitiven $\cos\varphi$ -Grenzwerte können hingegen nicht pauschal gesichert werden und sollten deshalb im Bereich der niedrigen P-Klassen neu definiert werden. Dies liegt vor allem am bislang vernachlässigten kapazitiven Verhalten der Netze bei Schwachlast (aufgrund ihrer Ladeleistung) und dem durch die Einspeisung aus EZA bedingten Verschieben der Betriebspunkte aus dem I. in den II. Quadranten. Diese und weitere Analyseergebnisse werden auf dem konferenzbegleitenden Poster erörtert. Eine Reduzierung des Regressionsfehlers ist durch die Auswertung weiterer NG (Erhöhung der Stützstellen) im weiteren Projektverlauf von SyNErgie angedacht.