

Identifikation von Einflussfaktoren auf den Blindleistungsbezug unterlagerter Verteilnetze in der Hochspannungsebene

Kim Michael Taylor(*), Patrick Larscheid, Tobias van Leeuwen, Albert Moser

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen, Schinkelstr. 6,
52062 Aachen, Tel: +49 241 80 96721, Fax: +49 241 80 92197, kt@iaew.rwth-aachen.de,
<http://www.iaew.rwth-aachen.de>

Kurzfassung:

Ein steigender Anteil dezentraler Stromerzeugungsanlagen, eine veränderte Laststruktur sowie durch Netzausbau bedingte Veränderungen der Netzstrukturparameter führen neben einem veränderten Wirkleistungsfluss ebenfalls zu einem veränderten Blindleistungsbezug der Mittelspannungsnetze aus der Hochspannungsebene. Damit Verteilnetzbetreiber ihre Aufgabe der Spannungshaltung erfüllen können, ist daher eine geeignete Modellierung des Blindleistungsverhalten der unterlagerten Mittel- und Niederspannungsnetze notwendig. Eine Modellierung über die Annahme eines konstanten Leistungsfaktors an der Schnittstelle zwischen Hochspannungs- und Mittelspannungsnetz ist dabei in der Regel mit signifikanten Modellierungsfehlern behaftet, sodass neue Modelle zur adäquaten Abbildung unterlagerter Netze benötigt werden. In einem ersten Schritt sind daher solche Einflussfaktoren zu identifizieren, die einen signifikanten Einfluss auf den Blindleistungsbezug haben. Im Rahmen dieses Beitrags werden daher anhand eines exemplarischen, spannungsebenen übergreifenden Modells eines Mittel- und Niederspannungsnetzes der Einfluss verschiedener Netzparameter auf den resultierenden Blindleistungsbezug über Sensitivitätsberechnungen quantifiziert. Die Untersuchungen zeigen, dass der Blindleistungsbezug der unterlagerten Netze durch einige wenige Einflussfaktoren charakterisiert ist. Maßgeblichen Einfluss auf den Blindleistungsfluss haben demnach die Blindleistungsbereitstellung der angeschlossenen dezentralen Stromerzeugungsanlagen, die Leitungsparameter und Netzlänge sowie die Nennspannung der Mittelspannungsebene. Einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den Blindleistungsbezug haben dagegen die Netzbetriebsmittel der Niederspannungsebene sowie eine offene bzw. geschlossene Betriebsweise von Mittelspannungsringen.

Keywords: Verteilnetze, Hochspannungsebene, Spannungshaltung, Blindleistung

1 Einleitung

Betreiber von Hochspannungsnetzen (HS-Netzen) stehen vor dem Hintergrund eines fortschreitenden Ausbaus dezentraler, erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen (EE-Anlagen) vor großen Herausforderungen. Die veränderten Leistungsbezüge von Mittelspannungs- (MS) und Niederspannungskunden (NS) und ein zunehmender Trend zur Verkabelung von Leitungen beeinflussen zusätzlich den Blindleistungsbezug unterlagerter Spannungsebenen im HS-Netz [1]. Zudem beeinflussen unterschiedliche Konzepte zur Blindleistungsbereitstellung durch EE-Anlagen mit dem Ziel der Spannungshaltung in den MS- und NS-Netzen den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ an der unterspannungsseitigen HS/MS-Schnittstelle. Bisherige Ansätze zur Modellierung des Blindleistungsbezugs von MS- und NS-Netzen an der

HS/MS-Schnittstelle etwa über Annahme eines pauschalen Leistungsfaktors weisen zunehmend Abweichungen zu realitätsnahen Blindleistungsflüssen auf. Insbesondere für Fragestellungen der Spannungshaltung im HS-Netz scheinen derartig vereinfachte Modelle nicht hinreichend genau [2].

Aufgrund der hohen Anzahl von Netzkomponenten sowie eine häufig unzureichende Datenbasis zur Modellierung der unterlagerten MS/NS-Netze ist eine vollständige Abbildung der MS/NS-Ebene für HS-Netzbetreiber zur Bewertung der Spannungshaltung in der Regel nicht praktikabel. Daher sind vereinfachte Modellen für eine adäquate Abbildung des Blindleistungsbedarfs der unterlagerten Netze notwendig. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieses Beitrags in Form von Sensitivitätsuntersuchungen analysiert, welche Faktoren des MS- und NS-Netze den Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle signifikant beeinflussen und somit bei der Entwicklung vereinfachter Blindleistungsmodelle für die HS-Ebene zu berücksichtigen sind.

2 Untersuchungsmethode

Im Rahmen der Sensitivitätsuntersuchung wird der unterspannungsseitige Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle ermittelt und analysiert. Zur realitätsnahen Abbildung der spannungsebenen übergreifenden Leistungsflüsse wird ein exemplarisches, charakteristisches Modellnetz verwendet, welches auf Basis eines probabilistischen Verfahrens zur Modellierung der Netzstruktur und Versorgungsaufgabe erstellt wurde [3-5]. Abbildung 1 zeigt den Ausschnitt eines solchen exemplarischen Modellnetzes.

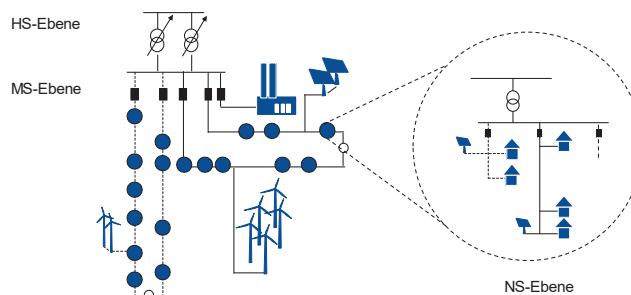


Abbildung 1: Spannungsebenen übergreifendes Netzmodell der MS- und NS-Ebene

Anhand des exemplarischen Netzmodells werden verschiedene Netz-, Einspeise- und Lastparameter variiert. Diese Parameter beinhalten folgende Faktoren:

- Die Blindleistungssteuerung der EE-Anlagen
- Die Leitungsparameter sowie den Kabelanteil
- Die Nennspannung der MS-Ebene
- Die Netzanschlusspunkte von EE-Anlagen im Netzgebiet
- Eine mögliche Vermaschung im MS-Netz durch geschlossene betriebene MS-Ringe
- Die Spannungsabhängigkeit von Verbrauchern.

Abbildung 2 zeigt den Ablauf der im Folgenden durchgeführten Sensitivitätsuntersuchungen. Im Rahmen einer Jahressimulation werden anhand stundenscharfer Zeitreihen Lastflussberechnungen durchgeführt und somit der Wirk- und Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle für jeweilige Variation der untersuchten Einflussfaktoren ermittelt. In Abhängigkeit dieser Variationen wird der Blindleistungsbezug mit der des definierten

Basisnetzes verglichen und hinsichtlich der Relevanz quantitativ bewertet. Eine detaillierte Darstellung der Zusammensetzung des Blindleistungsbezugs, gegliedert in den Blindleistungsbedarf der Lasten, EE-Anlagen sowie der Netzbetriebsmittel je Spannungsebene, ermöglicht gezielte Rückschlüsse auf die Relevanz und Plausibilität der jeweiligen Sensitivitäten. Der Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle wird in Form von Werten für Wirk- und Blindleistungsbezug in einem Wirk-, Blindleistungsdiagramm, für jeweils berechnete Stunden dargestellt. Die mittlere Abweichung des Blindleistungsbezugs Q_x , unterschieden in den Blindleistungsbedarf der Lasten, der EE-Anlagen und der Leitungen je Spannungsebene und der MS/NS-Transformatoren wird mithilfe eines Balkendiagramms dargestellt. Die mittlere Abweichung ergibt sich über die Stunden i wie folgt:

$$\Delta Q_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{x,i} - Q_{x,Basis,i} \quad (2.1)$$

Anschließend werden die einzelnen Sensitivitäten quantitativ bewertet und miteinander bezüglich mittlerer Abweichung und Standardabweichung verglichen. Neben der absoluten Abweichung wird ebenfalls die relative Abweichung des resultierenden Blindleistungsbezugs dargestellt, welche sich aus dem Delta des Blindleistungsbezugs pro Stunde in Relation der Differenz des minimalen und maximalen Blindleistungsbezugs pro Jahr ergibt. Die relative Abweichung ergibt sich als:

$$\Delta q_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i - Q_{Basis,i}}{Q_{Basis,max} - Q_{Basis,min}} \quad (2.2)$$

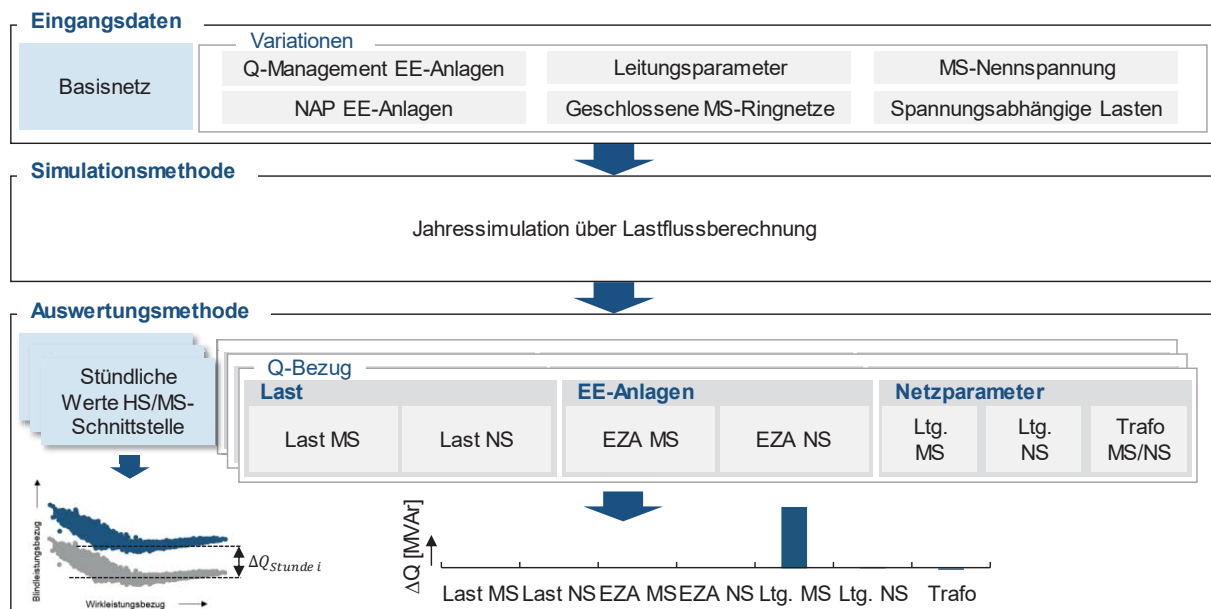


Abbildung 2: Exemplarische Untersuchungsmethode

3 Sensitivitätsuntersuchungen

Die Sensitivitäten auf den Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle werden mithilfe von Lastflussberechnungen identifiziert und bewertet. Bei dem Basisnetz handelt es sich um ein ländliches Netzgebiet mit einem hohen Anteil an PV-Einspeisung. Es wird eine Blindleistungsbereitstellung der EE-Anlagen über die Anwendung einer $\cos\phi(P)$ -Kennlinie

entsprechend [1] angenommen. In Tabelle 1 sind relevante Kenndaten des Basisnetzes dargestellt.

Tabelle 1: Netzinformationen Basisnetz

Leitungslänge (MS/NS)	502 km (183 km / 319 km)
Anz. Netzanschlusspunkte / Anz. ONS	3794 / 150
Inst. Leistung Wind/ PV/ Sonst	7.83 MW / 12.45 MW / 3.17
Q-Regelungskonzept	$\cos\phi$ (P)-Kennlinie
Jahreshöchstlast (MS/NS)	3.7 MW / 9.93 MW

3.1 Einfluss des Konzepts zur Blindleistungsbereitstellung durch EE-Anlagen

In den Verteilnetzen in Deutschland kommen hauptsächlich drei verschiedene Blindleistungssteuerungen bzw. -regelung für EE-Anlagen zum Einsatz. Neben der Anwendung einer $\cos\phi(P)$ -Steuerung werden ebenfalls Steuerungen über einen konstanten $\cos\phi$ sowie Q(U)-Regelungen eingesetzt [6]. Im Folgenden werden die Auswirkungen durch Verwendung der verschiedenen Blindleistungskonzepte auf den Blindleistungsbezug eines unterlagerten MS/NS-Netzes untersucht. Hierzu werden die im Basisnetz unter Anwendung einer $\cos\phi(P)$ -Kennlinie durchgeführten Jahresrechnungen mit den Ergebnissen einer Simulation mit Q(U)-Regelung [6] sowie einer Steuerung der EE-Anlagen auf einen konstanten $\cos\phi=0,95$ durchgeführt. Abbildung 3 zeigt den unterspannungsseitigen, stündlichen Wirk- und Blindleistungsbezug an der Umspannebene zwischen HS- und MS-Ebene für verschiedene Blindleistungssteuerungen. Hierbei wurde für jede einzelne untersuchte Stunde der jeweilige Wirk- und Blindleistungsbezug aufgetragen.

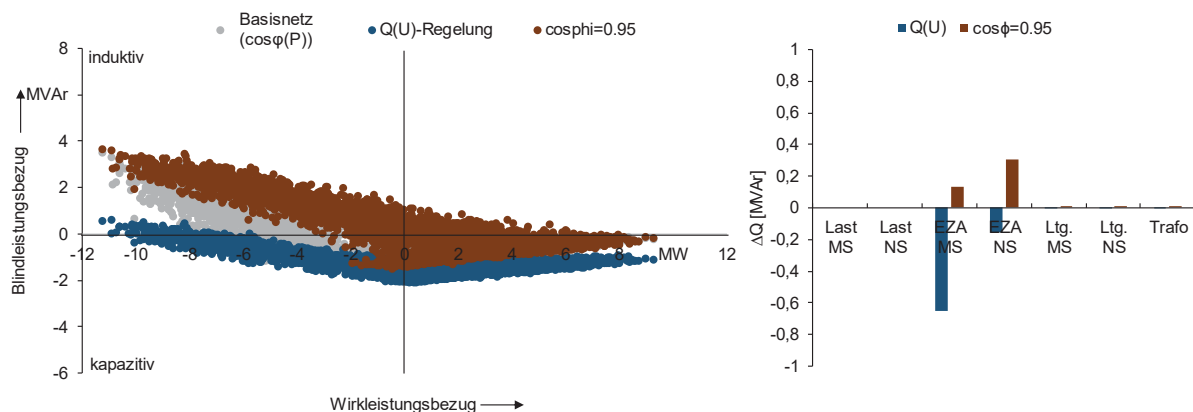


Abbildung 3: Wirk- und Blindleistungsbezug bei unterschiedlichem EE-Blindleistungsmanagement

Es ist erkennbar, dass bei einer spannungsgeregelten Blindleistungsbereitstellung über eine Q(U)-Regelung der Blindleistungsbezug insbesondere in Situationen mit hoher Wirkleistungsrückspeisung aus dem MS/NS-Netz deutlich geringer ist als bei Anwendung der der $\cos\phi(P)$ -Kennlinie für die EE-Anlagen. Die mittlere Abweichung des Blindleistungsbezugs der EE-Anlagen verdeutlicht, dass der veränderte Blindleistungsbezug nahezu ausschließlich auf die veränderte Blindleistungsbereitstellung der EE-Anlagen in der MS- und NS-Ebene zurückzuführen ist. Der geringere Blindleistungsbezug resultiert aus dem an die jeweilige Betriebsspannung angepassten Blindleistungsbezug der EE-Anlagen. Der Einfluss der Veränderung des Blindleistungsbedarfs aufgrund der resultierenden veränderten

Betriebsmittelauslastung auf den Blindleistungsbezug des MS/NS-Netzes ist hingegen vernachlässigbar. Im Vergleich zu der Anwendung einer $\cos\varphi(P)$ -Kennlinie führt eine Steuerung der EE-Anlagen über einen konstanten $\cos\varphi$ insbesondere in Situationen mit einer mittleren Einspeisung aus EE-Anlagen zu einem erhöhten induktiven Blindleistungsbezug. Der veränderte Blindleistungsbezug resultiert aus einer veränderten Blindleistungseinspeisung der EE-Anlagen in der MS- und NS-Ebene. Die veränderte Betriebsmittelauslastung als Resultat der veränderten Blindleistungseinspeisung ist vernachlässigbar gering.

3.2 Einfluss von Leitungsparametern

Im Folgenden wird der Einfluss der Leitungslänge und des Kabelanteils auf den Blindleistungsbezug an der Umspannebene zwischen HS- und MS-Ebene untersucht. Hierfür werden zunächst die Netzlänge sowie anschließend der Kabelanteil des Basisnetzes variiert und die Auswirkungen auf den Blindleistungsbezug ausgewertet. In der exemplarischen Untersuchung werden MS- und NS-Abgangslängen proportional um 25% verlängert bzw. verkürzt. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Lastflussberechnung exemplarisch dargestellt. Es ist hierbei zu erkennen, dass die Veränderung des Blindleistungsbezugs hauptsächlich aus dem veränderten Blindleistungsbezug der MS-Leitungen resultiert. Der veränderte Blindleistungsbezug der NS-Leitungen ist hingegen sehr gering. Zusätzlich ist erkennbar, dass der veränderte Blindleistungsbezug der Leitungen weitestgehend unabhängig von der jeweils untersuchten Stunde ist. Dies lässt sich an dem relativ konstant veränderten Blindleistungsbedarf der Leitungen über alle Last- und Einspeisesituationen erkennen.

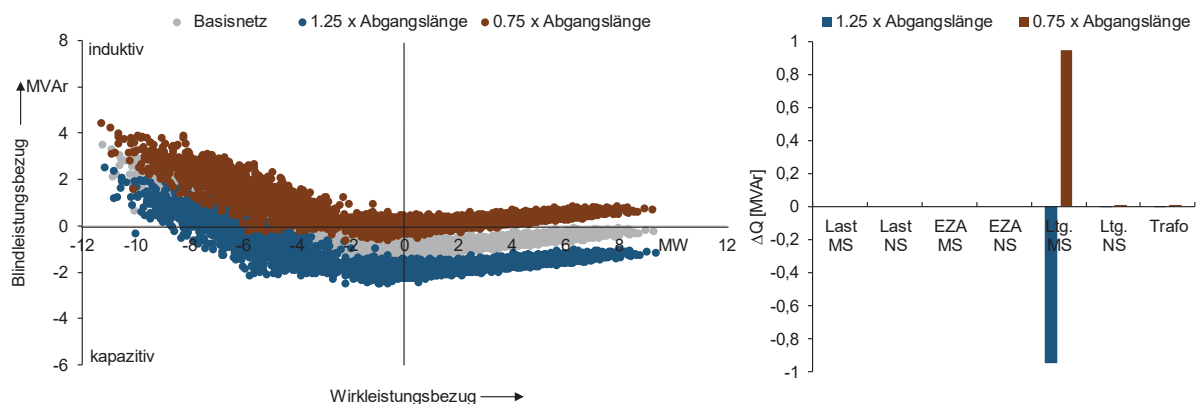


Abbildung 4: Wirk- und Blindleistungsbezug bei veränderten Netzabgangslängen

Während das Basisnetz einen vorgegebenen Kabelanteil aufweist, wird im Folgenden dieser Kabelanteil in dem gesamten MS/NS-Netz variiert. Abbildung 5 zeigt die Auswirkungen der Veränderung des Kabelanteils einerseits auf 100% und andererseits auf 0%. Eine Verwendung von ausschließlich Kabelleitungen im Netzgebiet führt im Vergleich zum Basisnetz zu einer wesentlichen Reduzierung des Blindleistungsbezugs. Eine ausschließliche Verwendung von Freileitungen hat dagegen einen signifikant höheren induktiven Blindleistungsbezug zur Folge. Es ist zu erkennen, dass die Veränderung des Blindleistungsbezugs weitestgehend unabhängig von der jeweiligen Last-/Einspeisesituation ist. Die Veränderung des Blindleistungsbezugs ist hierbei hauptsächlich auf den durch die unterschiedlichen Leitungsparameter von Kabel- und Freileitungen beeinflussten Blindleistungsbedarf der MS-Leitungen zurückzuführen. Der Einfluss der Leitungsparameter

der NS-Ebene ist aufgrund der quadratischen Spannungsabhängigkeit des kapazitiven Blindleistungsbedarfs der Leitungen entsprechend gering.

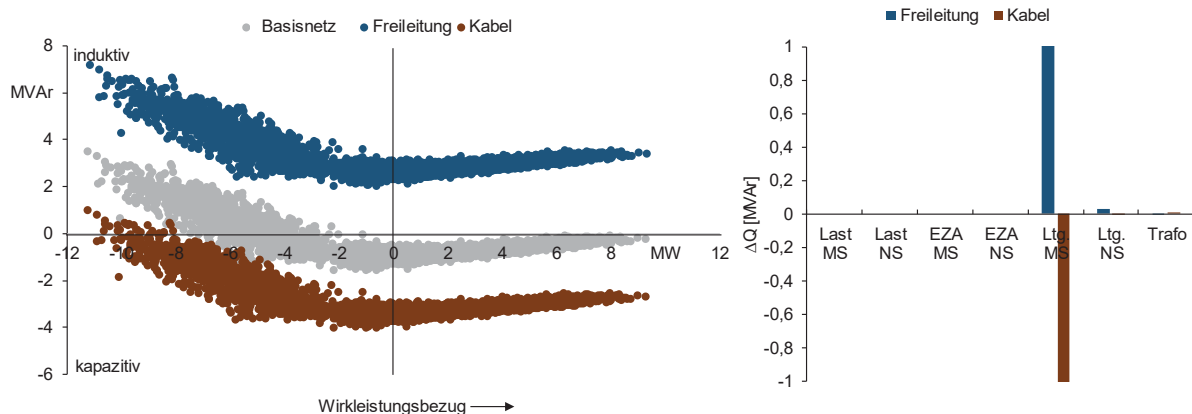
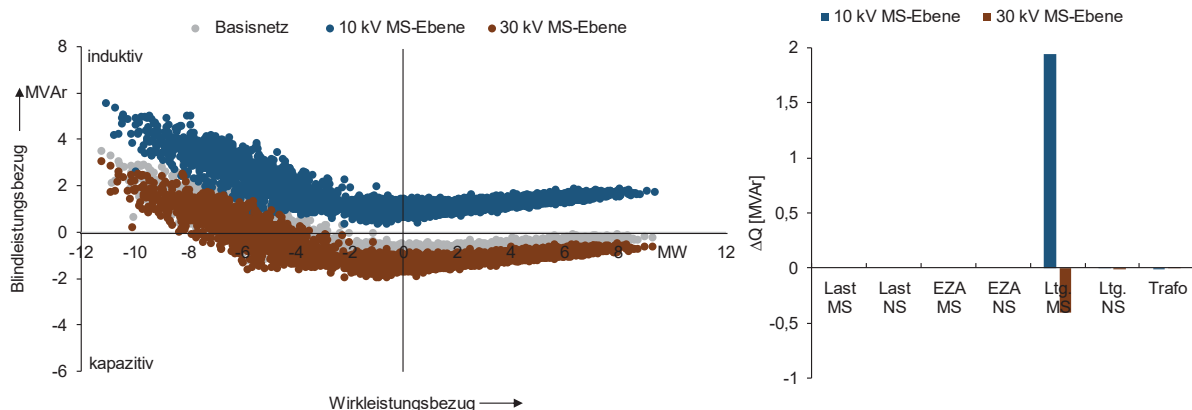


Abbildung 5: Wirk- und Blindleistungsbezug bei verändertem Kabelanteil

3.3 Einfluss der Nennspannung der MS-Ebene

Die Nennspannungen der MS-Ebenen in Deutschland sind nicht einheitlich. Im Folgenden wird daher quantifiziert, wie sich eine andere Nennspannung der dem HS-Netz unterlagerten MS-Netze auf deren Blindleistungsbezug auswirkt. Zur Identifikation dieser Auswirkung wird die Nennspannung des Basisnetzes von 20 kV auf 10 kV bzw. 30 kV verändert. Um eine Vergleichbarkeit der Blindleistungsbezüge für die unveränderte Versorgungsaufgabe des Netzes bei veränderter Nennspannung zu schaffen, werden die Leitungsparameter für die jeweils veränderten Nennspannungen derart angepasst, dass die über die MS-Leitungen übertragbare Leistung gleichbleibt. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis dieser Sensitivitätsuntersuchung. Die Unterschiede des Blindleistungsbezugs resultieren aus dem veränderten Blindleistungsbezug der MS-Netzkomponenten.



3.4 Einfluss des Netzanschlusspunktes von EE-Anlagen

In der nachstehenden Untersuchung wird der Einfluss der Verteilung der Netzanschlusspunkte für EE-Anlagen untersucht. Ausgehend vom Basisnetz werden der gewählte Netzanschlusspunkt, die EE-Anlagengröße sowie das verwendete Einspeiseprofil variiert. Die insgesamt installierte Leistung des Basisnetzes bleibt dabei unverändert. In Abbildung 7 ist der Wirk- und Blindleistungsbezug für verschiedene gleichverteilte Zufallsziehungen von EE-

Anlagen im Netzgebiet dargestellt. Die geringen Veränderungen im resultierenden Blindleistungsbezug resultieren größtenteils durch eine veränderte Blindleistungseinspeisung der EE-Anlagen. Die Rückwirkungen auf die Netzparameter durch veränderte Betriebsmittelauslastungen sind für den resultierenden Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle vernachlässigbar gering, welches anhand der mittleren Abweichung des Blindleistungsbedarfs der einzelnen Komponenten erkennbar ist. Der veränderte Blindleistungsbezug der EE-Anlagen ist auf verändert angenommene Einspeisezeitreihen und verschieden gewählte Anlagengrößen zurückzuführen.

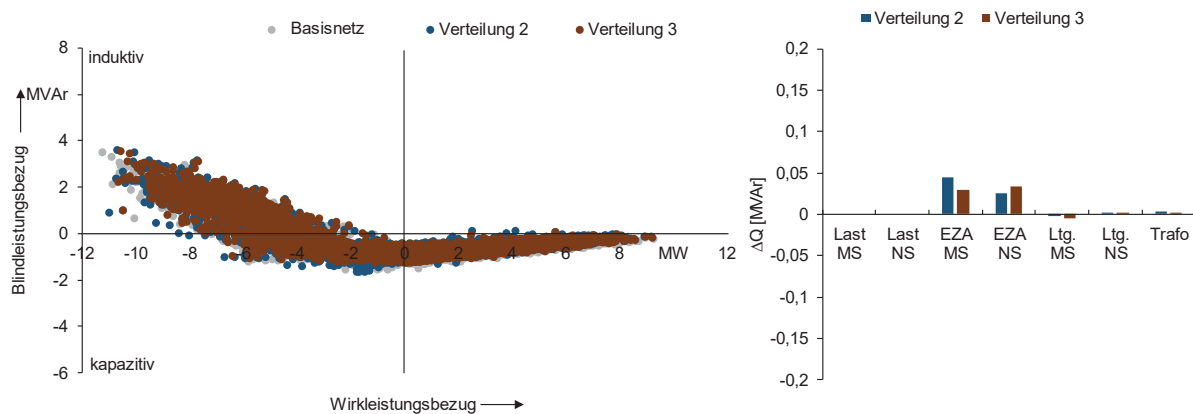


Abbildung 7: Wirk- und Blindleistungsbezug bei veränderten EE-Netzanschlusspunkten

3.5 Einfluss geschlossen betriebener MS-Ringe

In der folgenden Untersuchung ist der Einfluss geschlossener MS-Ringe während des Netzbetriebs dargestellt. Abbildung 8 zeigt den Wirk- und Blindleistungsbezug bei geschlossenen und offen betriebenen MS-Ringnetzen im Netzbetrieb. Der sehr geringe Unterschied im Blindleistungsbezug ist auf einen veränderten Blindleistungsbezug der MS-Netzkomponenten zurückzuführen. Dies wird anhand der mittleren Abweichung des Blindleistungsbezugs der MS-Leitungen verdeutlicht und ist insbesondere auf eine leicht veränderte Leitungsauslastung durch die geschlossene Betriebsweise der MS-Ringe zurückzuführen.

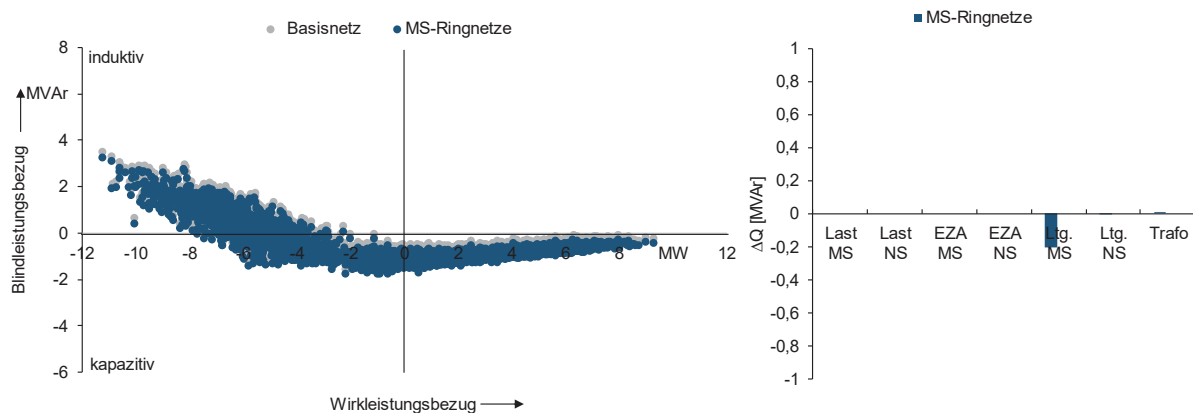


Abbildung 8: Wirk- und Blindleistungsbezug bei geschlossenen MS-Ringen

3.6 Einfluss durch spannungsabhängigen Leistungsbezug der Verbraucher

Der stationäre Blindleistungsbezug der Verbraucher ist üblicherweise abhängig von der Betriebsspannung. Dieses Verhalten kann für eine Vielzahl Verbraucher hinreichend genau über geeignet parametrisierte Exponentenmodelle entsprechend Formel (3.3) abgebildet werden [7].

$$Q = Q_0 * \left(\frac{U}{U_0}\right)^{\alpha_q} \quad (3.3)$$

In der folgenden Untersuchung wird der Einfluss von verschiedenen Exponenten zur Abbildung spannungsabhängiger Lasten untersucht. In Abbildung 9 sind die Auswirkungen für zwei verschiedene, für Lasten der MS- und NS-Ebene übliche Exponenten auf den resultierenden Blindleistungsbezug dargestellt. Es ist erkennbar, dass es jeweils zu einem sehr leicht gestiegenen Blindleistungsbezug der Lasten in der MS/NS-Ebene kommt. Eine veränderte Betriebsmittelauslastung als Resultat des veränderten Blindleistungsbezugs ist vernachlässigbar gering.

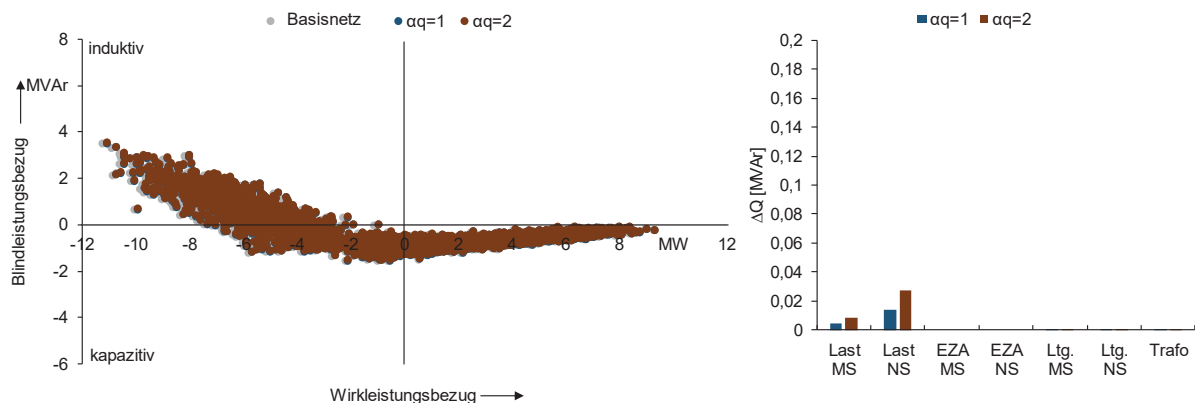


Abbildung 9: Wirk- und Blindleistungsbezug für veränderte Spannungsabhängigkeit der Lasten

3.7 Einfluss der Niederspannungsebene

Die zuvor gezeigten Sensitivitätsuntersuchungen zeigen einen geringen Einfluss des Blindleistungsbedarfs der NS-Leitungen auf den resultierenden Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle. Im Folgenden wird daher untersucht, inwieweit eine vereinfachte Modellierung der MS- und NS- Netze unter Vernachlässigung der Netzbetriebsmittel der NS-Ebene hinreichend genau ist. Die Summe der Lasten der NS-Ebene sowie der EE-Anlagen in der NS-Ebene werden dabei aggregiert und über entsprechende Ersatzlasten und Ersatzerzeugungsanlagen mit einem unterspannungsseitigen Anschluss an den MS/NS-Transformatoren modelliert. Sämtliche Leitungen des NS-Netzes werden vernachlässigt, siehe Abbildung 10.

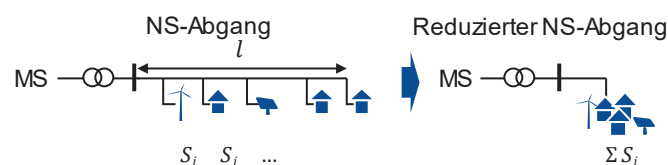


Abbildung 10: Exemplarische Reduzierung NS-Ebene

Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse mit und ohne Reduzierung der NS-Ebene für das Basisnetz. Es ist erkennbar, dass es zu einer geringen Abweichung des Wirk- und Blindleistungsbezugs kommt, dieser jedoch sehr gering ist.

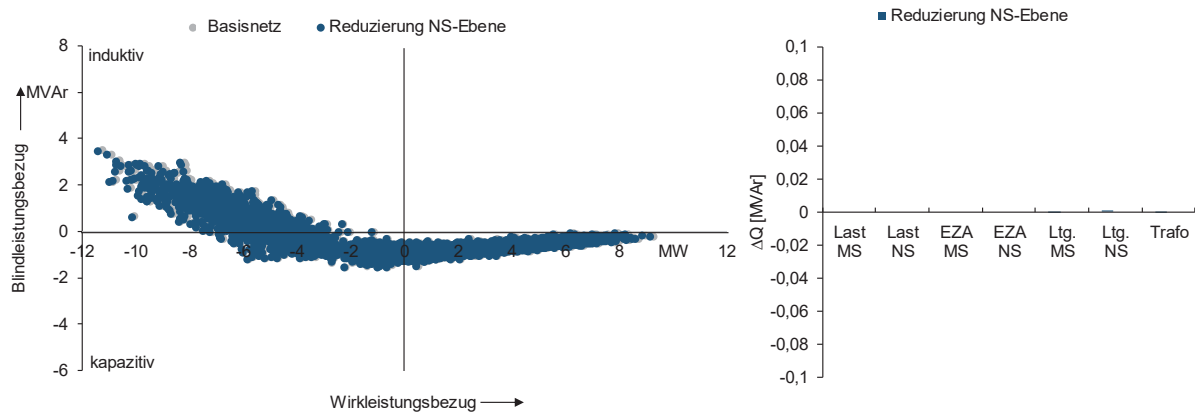


Abbildung 11: Wirk- und Blindleistungsbezug bei reduzierter NS-Ebene

In Abbildung 12 ist der Einfluss auf den Blindleistungsbezug bei einer spannungsgeregelten Blindleistungseinspeisung von EE-Anlagen entsprechend einer Q(U)-Regelung dargestellt. Es ist erkennbar, dass insbesondere bei hohen negativen Residuallasten die Modellierungsfehler durch die reduzierte Abbildung der NS-Netze ansteigen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einer starken Einspeisung durch EE-Anlagen bei gleichzeitig niedriger Last in der NS-Ebene vergleichsweise hohe Betriebsspannungen am Ende der NS-Abgänge auftreten und somit die spannungsabhängige Blindleistungseinspeisung der EE-Anlagen entsprechend der Q(U)-Kennlinie ansteigt. Bei Reduzierung der NS-Ebene kann diese Abhängigkeit der Blindleistungseinspeisung der EE-Anlagen für die EE-Anlagen der NS-Ebene nicht mehr abgebildet werden. Dies ist insbesondere durch den veränderten Blindleistungsbezug der EE-Anlagen in der NS-Ebene zu erkennen.

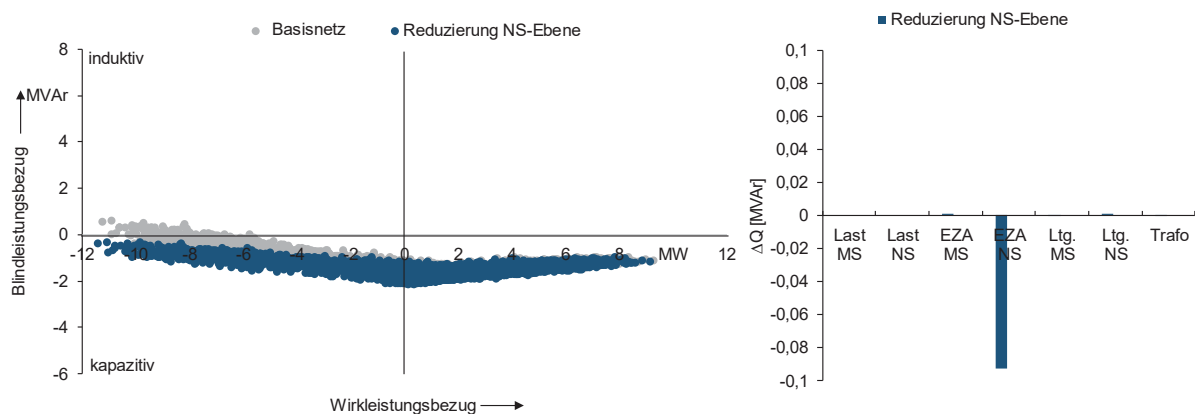


Abbildung 12: Wirk- und Blindleistungsbezug bei reduzierter NS-Ebene bei einer Q(U)-Regelung

4 Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Die Sensitivitätsuntersuchungen zeigen, dass der quantitative Einfluss der untersuchten Faktoren auf den resultierenden Blindleistungsbezug sehr unterschiedlich ausfällt. In Abbildung 13 sind die untersuchten Sensitivitäten in absteigender Reihenfolge nach den absoluten mittleren Abweichungen auf den resultierenden Blindleistungsbezug dargestellt.

Neben der mittleren Abweichung, als Indikator für eine grundsätzliche Verschiebung des Blindleistungsbezugs, dient die Standardabweichung als Indikator für die Streuung um diesen Mittelwert als Bewertungskriterium der Relevanz auf den resultierenden Blindleistungsbezug. Eine hohe Standardabweichung bedeutet eine hohe Abhängigkeit von Last- und Einspeisesituationen, wie insbesondere bei einem veränderten Blindleistungsmanagement der EE-Anlagen zu erkennen.

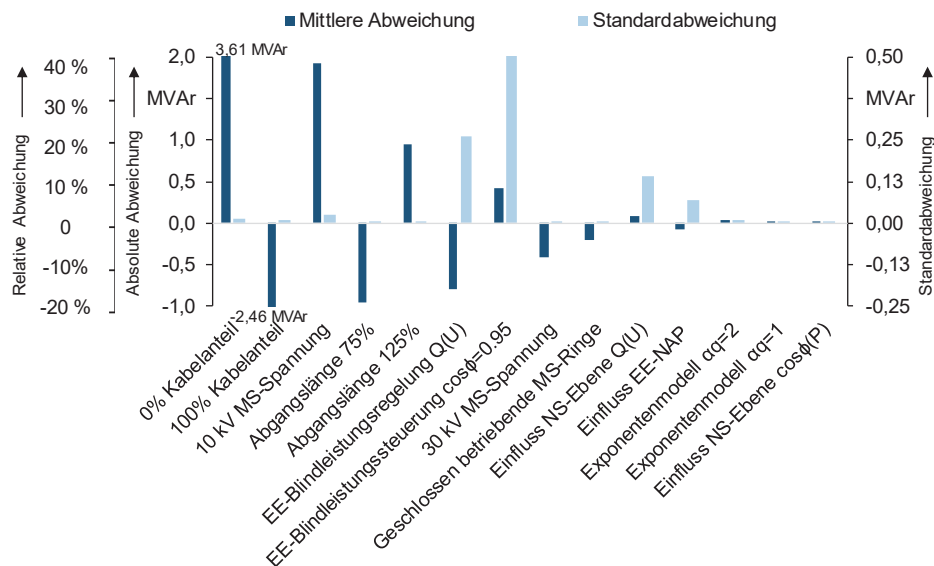


Abbildung 13: Einfluss der Sensitivitäten auf den Blindleistungsbezug

Insbesondere die Leitungsparameter Kabelanteil und Leitungslänge haben einen signifikanten Einfluss auf den resultierenden Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle, welcher sich generell relativ unabhängig von der jeweiligen Netzbelastungssituation dargestellt hat. Ebenfalls die Nennspannung in der MS-Ebene hat einen signifikanten Einfluss auf den resultierenden Blindleistungsbezug. Blindleistungsmanagementkonzepte von EE-Anlagen beeinflussen direkt den Blindleistungsbezug und sind insbesondere von der aktuellen Last- und Einspeisesituation beeinflusst.

Des Weiteren ist erkennbar, dass eine vereinfachte Modellierung der NS-Ebene unter Vernachlässigung der NS-Netzstruktur lediglich zu einer geringen Abweichung im resultierenden Blindleistungsbezug führt und auch bei einem spannungsgeregelten Blindleistungsmanagement der EE-Anlagen in der NS-Ebene es lediglich zu einer geringen Abweichung im resultierenden Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle bei Reduktion der NS-Ebene kommt. Eine veränderte Netzbelastung durch veränderte Netzanschlusspunkte sowie geschlossen betriebene MS-Ringe und sowie die Spannungsabhängigkeit des Blindleistungsbedarfs von Verbrauchern weisen verhältnismäßig geringe Auswirkungen auf den resultierenden Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle auf, trotz teilweise lokal veränderter Blindleistungsflüsse.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden verschiedene Sensitivitäten auf den Blindleistungsbezug an der HS/MS-Schnittstelle untersucht, vor dem Hintergrund Rückschlüsse für eine vereinfachte Modellierung des Blindleistungsbezugs an der HS/MS-Schnittstelle zu erhalten. Die

Ergebnisse zeigen, dass der Blindleistungsbezug durch einige wesentliche Einflussfaktoren maßgeblich beeinflusst wird. Die zentralen Einflussfaktoren sind die Blindleistungsbereitstellung und somit insbesondere das jeweilige Blindleistungskonzept der im MS- und NS-Netz angeschlossenen EE-Anlagen sowie der Blindleistungsbedarf der Leitungen und Kabel der MS-Ebene. Insbesondere die MS- Netzlänge und die Nennspannung der MS-Ebene zeigen hierbei einen signifikanten Einfluss auf den Blindleistungsbezug.

Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass für realitätsnahe MS-Netze mit mehreren MS-Ringen die Kenntnis der exakten Netzanschlusspunkte der EE-Anlagen im Netz sowie ein geschlossener Betrieb der MS-Ringe hingegen keinen signifikanten Einfluss auf den Blindleistungsbezug haben. Dies ist insbesondere auf Ausgleichseffekte bei der Betrachtung mehrerer MS-Ringe und der damit verbundenen hohen Anzahl unterlagerter NS-Netze zurückzuführen. Eine Vernachlässigung der Abbildung der Spannungsabhängigkeit des Blindleistungsbedarfs von Verbrauchern sowie eine vereinfachte Abbildung der NS-Ebene ist ohne signifikante Modellierungsfehler hinsichtlich des Blindleistungsbezugs möglich.

Es lässt sich schlussfolgern, dass eine vereinfachte Modellierung des Blindleistungsbezugs unterlagerter Spannungsebenen im HS-Netz über einen konstanten Leistungsfaktor ohne Berücksichtigung der wesentlichen Einflussfaktoren zu signifikanten Fehlern führen kann. Eine Verbesserung der Modellierungsgenauigkeit des Blindleistungsbezugs der MS/NS-Netze ist daher über geeignete Modelle zu erwarten, die die aufgezeigten Zusammenhänge zwischen den wesentlichen Einflussfaktoren und dem Blindleistungsbezug abbilden.

6 Referenzen

- [1] BDEW: Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz. Berlin, Juni 2008.
- [2] S. Dierkes, F. Bennewitz, et al., "Impact of distributed reactive power control of renewable energy sources in smart grids on voltage stability of the power system," in *Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ)*, Rakvere, Estonia, 2014
- [3] J. Kellermann, P. Larscheid, and A. Moser, "Applying Synthetic Distribution Grids for Sensitivity Studies of Grid Expansion Reduction by Curtailment Schemes," in *NEIS Conference 2017*, Hamburg, Germany, 2017
- [4] P. Larscheid, M. Maercks, et al. "Increasing the hosting capacity of RES in distribution grids by active power control". International ETG-Kongress, Bonn 2015.
- [5] A. Moser, S. Dierkes P. Larscheid, "Systemstudie zum Einspeisemanagement erneuerbarer Energien", RWTH Aachen, Aachen 2015
- [6] Netze BW, "Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz der Netze BW GmbH", Version 1.0 Netze BW GmbH, Stuttgart 2013
- [7] IEEE: Load Representation for dynamic performance analysis. IEEE Transaction on Power Systems Vol. 8, No. 2 1993.