

Untersuchung des Blindleistungshaushaltes der Netzgesellschaft Düsseldorf

**Nadine Burgert¹, Prof. Dr. David Echternacht², Dr. Kevin Neumann¹,
Heinz Heßling¹, Pascal Gebauer¹, Peter Aymanns¹**

¹Netzgesellschaft Düsseldorf mbH, Höherweg 200, 40233 Düsseldorf, www.netz-duesseldorf.de, nburgert@netz-duesseldorf.de

²Hochschule Düsseldorf, Münsterstraße 156, 40476 Düsseldorf, www.hs-duesseldorf.de, david.echternacht@hs-duesseldorf.de

Kurzfassung: Die Netzgesellschaft Düsseldorf mbH beobachtet ein zunehmend kapazitives Blindleistungsverhalten ihrer Netze an den Kuppelstellen zum Übertragungsnetz. Zur Identifizierung der Ursachen und möglicher Gegenmaßnahmen erfolgt eine systematische Untersuchung des Blindleistungshaushaltes über alle Spannungsebenen auf Basis realer Messwerte. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass das zunehmend kapazitive Verhalten unter anderem aus den Niederspannungsnetzen resultiert. Dort weisen insbesondere leistungselektronische Verbraucher sowie moderne Messeinrichtungen, die als Ersatz für konventionelle Ferrarisähler verbaut werden, ein kapazitives Verhalten auf.

Keywords: Blindleistung, Spannungshaltung, messtechnische Untersuchung, Versorgungsaufgabe, intelligente Messsysteme

1 Hintergrund und Motivation

Die Netzgesellschaft Düsseldorf mbH betreibt die elektrischen Netze der Nieder-, Mittel- und Hochspannung in der Stadt Düsseldorf. Über mehrere Kuppelstellen erfolgt eine Anbindung an das 220 kV- bzw. 380 kV-Netz des vorgelagerten Übertragungsnetzbetreibers. An diesen Kuppelstellen gibt es eine vertragliche Vorgabe des gepoolten Blindleistungsaustausches.

Die aggregierten Blindleistungsmesswerte an den Transformatoren zwischen Hoch- und Höchstspannungsebene zeigen ein zunehmend kapazitives Verhalten der Netze in Düsseldorf. Diese Entwicklung ist bereits seit mehreren Jahren zu beobachten und bei einer Fortschreibung droht, zu einzelnen Zeitpunkten, eine Verletzung der vertraglichen Grenzen des Blindleistungsaustausches. Darüber hinaus erhöht sich hierdurch das Spannungsniveau in der Hoch- und Höchstspannung.

Um eine Überschreitung der vertraglichen Grenzen zu vermeiden, sind unterschiedliche Maßnahmen, wie bspw. eine marktgestützte Beschaffung von Blindleistung, die Vorgabe der Blindleistungsbereitstellung durch Erzeugungsanlagen sowie die Errichtung von Kompensationsanlagen denkbar. Für die Ermittlung der optimalen Gegenmaßnahmen ist es jedoch zunächst zweckmäßig die Ursache für das zunehmend kapazitive Verhalten zu identifizieren. Zu diesem Zwecke wurde eine detaillierte Untersuchung des Blindleistungshaushaltes durchgeführt, deren Methodik und Ergebnisse in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

2 Methodik

In Abbildung 1 ist eine schematische Übersicht mit den zur Untersuchung des Blindleistungshaushaltes verwendeten Messwerten dargestellt. Dabei werden alle Spannungsebenen von der Netzebene 2 (Umspannebene Hochspannung/Höchstspannung) bis hin zu einzelnen Verbrauchern in der Netzebene 7 (Niederspannungsebene) betrachtet. In einem ersten Schritt erfolgt die Analyse der Messwerte der Umspannebene zum vorgelagerten 220 bzw. 380 kV-Übertragungsnetz sowie der Blindleistungsbedarf des 110 kV-Kabelnetzes. Darauf aufbauend erfolgt eine Betrachtung der Messwerte der 110/10 bzw. 110/25 kV-Transformatoren in den Umspannwerken der Netzebene 5. Für die Untersuchung der Mittelspannungsnetze wird auf Abgangsmessungen aus den Umspannwerken zurückgegriffen und es erfolgt eine Auswertung der fünfzehnminütigen Wirk- und Blindleistungsmesswerte der letzten Jahre. Hierbei zeigt sich, dass die Änderung des Blindleistungsverhaltens einzelner Mittelspannungsabgänge stark von der Zusammensetzung bzw. Anzahl der jeweiligen Kunden- und Netzstationen der Abgänge abhängig ist. Da die Betriebsspannung und der Blindleistungsbedarf der Mittelspannungskabel die Änderungen des Blindleistungshaushaltes

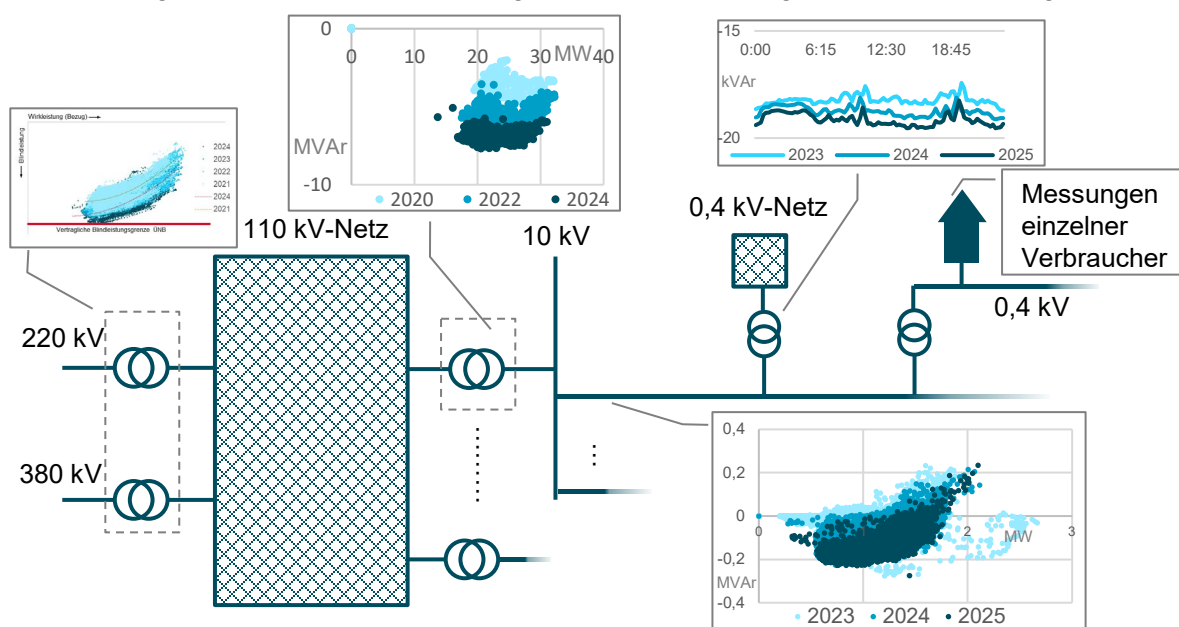


Abbildung 1 Übersicht Methodik zur messtechnischen Analyse des Blindleistungshaushaltes

nicht erklärt, erfolgt auch eine Betrachtung der unterlagerten Niederspannungsnetze. Die Netzgesellschaft Düsseldorf hat bereits in einer größeren Anzahl an Ortsnetzstationen niederspannungsseitige Abgangsmessungen der Firma Smight eingebaut. Diese stellen jedoch keine Wirk- und Blindleistungsmesswerte zur Verfügung. Deshalb kann im Rahmen der Untersuchung nur auf die historischen Blindleistungsmesswerte zurück gegriffen werden, die an den Transformatoren einzelner Ortsnetzstationen erfasst wurden. Darüber hinaus wurden temporäre Messungen an Ortsnetztransformatoren im Rahmen der Untersuchung durchgeführt und die Wirk- und Blindleistung der entsprechenden 10/0,4 kV-Transformatoren jeweils über eine Woche messtechnisch erfasst.

Um das zunehmend kapazitive Verhalten in den Niederspannungsnetzen nachzuvollziehen, erfolgt zusätzlich die messtechnische Untersuchung der Blindleistungsbedarfe einzelner Geräte wie bspw. Netzteile, LED-Leuchten, Elektrofahrzeuge sowie unterschiedlicher

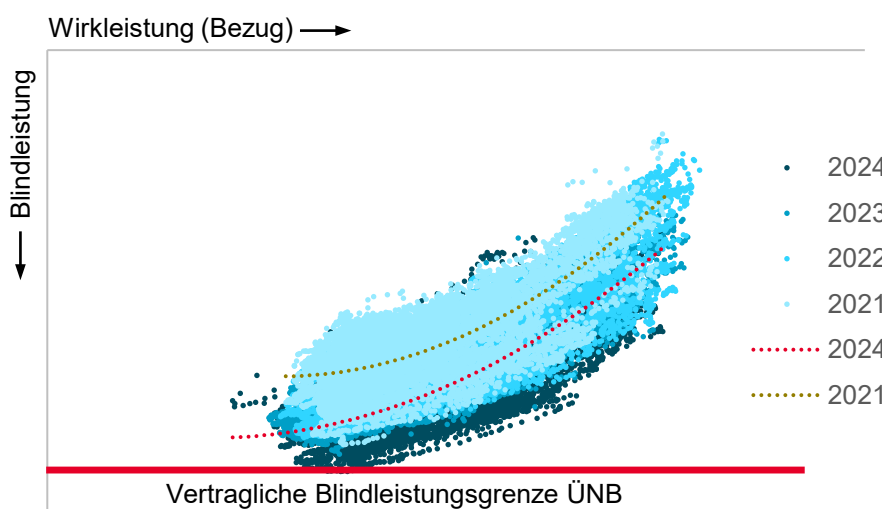
Zählertypen wie bspw. Ferrariszähler und moderner Messeinrichtungen (mMe) mit einem hochpräzisen Leistungsmessgerät.

3 Ergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln erfolgt die Vorstellung der Ergebnisse, gegliedert nach den jeweiligen Netzebenen und beginnend mit Netzebene 2 bis hin zu den einzelnen Geräten in der Niederspannungsnetzebene.

3.1 Umspannebene Höchstspannung/Hochspannung

Das Netzgebiet der Netzgesellschaft Düsseldorf ist über mehrere Transformatoren mit dem vorgelagerten 380 bzw. 220 kV-Übertragungsnetz gekoppelt. Da die vertragliche Vorgabe des Blindleistungsaustausches nicht für die einzelnen Kuppelstellen, sondern gepoolt über alle



Kuppelstellen gilt, ist in Abbildung 2 ein Scatter-Plot der aggregierten fünfzehnminütigen Wirk- und Blindleistungsmesswerte („P/Q-Wolke“) aller 380/110 kV bzw. 220/110 kV-Transformatoren abgebildet. Mit Hinblick auf die Vertraulichkeit der Vertragsdetails wird in Abbildung 2 sowie Abbildung 3 bewusst auf die Darstellung der

Abbildung 2 Aggregierte „P/Q-Wolke“ für Kuppelstellen zum Übertragungsnetz

Achsenbeschriftung verzichtet. Für die Ergebnisgrafiken der weiteren Spannungsebenen sind diese jeweils immer eingefügt.

Im 110 kV-Netz der Netzgesellschaft Düsseldorf ist das Gaskraftwerk Lausward mit einer elektrischen Leistung von 826 MW eingebunden, dessen größter Block eine elektrische Leistung von 595 MW aufweist [1]. Die Einspeiseleistung übersteigt die maximale Leistungsaufnahme im Netzgebiet (veröffentlichte Jahreshöchstlast ca. 484 MW [2]), so dass es zu einer Rückspeisung in das Übertragungsnetz kommt. Durch die Spannungsregelung der Synchrongeneratoren ist eine gezielte Beeinflussung des Blindleistungsaustausches an den Kuppelstellen zum Übertragungsnetz möglich, so dass entsprechende Zeitpunkte nicht kritisch sind. Aus diesem Grund umfasst die P/Q-Wolke in Abbildung 2 nur Zeitpunkte, in denen keiner der Kraftwerksblöcke einspeist. Deshalb beschränkt sich die Wolke auch auf den vierten Quadranten.

Die Farbe der Punkte-Wolken repräsentiert das jeweilige Jahr des Zeitbereichs von 2021 bis 2024. Zusätzlich sind Ausgleichskurven für die Jahre 2021 und 2024 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass das Blindleistungsverhalten der Netze der Netzgesellschaft Düsseldorf zunehmend kapazitiver wird und die Überschreitung der vertraglich vereinbarten

Blindleistungsgrenze droht. Gleichzeitig ist auch erkennbar, dass die kritischsten Situationen mit Hinblick auf das kapazitive Verhalten bei eher niedrigen Wirkleistungsbezügen auftreten und sich die maximalen bzw. minimalen Wirkleistungsbezüge kaum verändert haben.

Um den zeitlichen Verlauf des Blindleistungsbedarfes zu analysieren, werden jeweils auf Wochen bzw. Stundenbasis die minimalen, maximalen und durchschnittlichen Blindleistungswerte auf Basis der vorliegenden Viertelstundenwerte für die unterschiedlichen Jahre ermittelt. Dies ist in Abbildung 3 exemplarisch für die Werte des Jahres 2024 dargestellt.

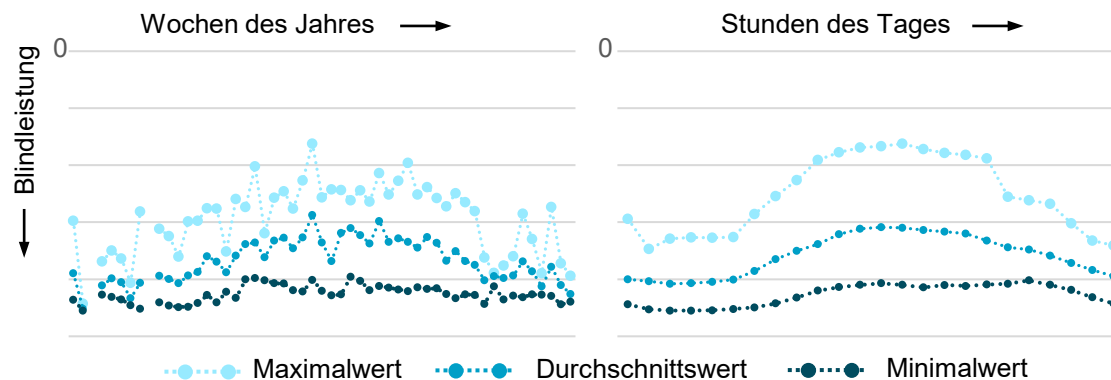


Abbildung 3 Aggregierte Blindleistung an Kuppelstellen zum Übertragungsnetz im Jahr 2024 auf Wochen bzw. Stundenbasis

Auf der linken Seite der Grafik ist das Verhalten über die einzelnen Wochen des Jahres dargestellt. Es ist erkennbar, dass in allen Wochen stark kapazitive Zeitpunkte auftreten mit einem absoluten Minimum im Winter. An dem Verlauf der maximalen und durchschnittlichen Wochenwerte lässt sich ein etwas weniger kapazitives Verhalten in den Sommerwochen erkennen. Die minimalen, maximalen und durchschnittlichen Wirkleistungswerte sind im Jahresverlauf hingegen relativ konstant. Das in einzelnen Woche keine Werte angezeigt werden, liegt daran, dass in den entsprechenden Woche zu jeder Viertelstunde einer der Kraftwerksblöcke am Netz war.

Auf der rechten Seite der Grafik sind die maximalen, minimalen und durchschnittlichen Werte für jede Stunde des Tages abgebildet. Hier ist deutlich erkennbar, dass die Situationen mit dem kapazitivsten Verhalten in den Nachtstunden auftreten.

3.2 Hochspannungsebene

Das 110 kV-Netz der Netzgesellschaft Düsseldorf umfasst sowohl Freileitungen als auch Kabel und wird vermascht betrieben. Die Stromkreislänge der Kabel beläuft sich dabei auf 128 km und die der Freileitungen auf 32 km [2]. Als Kabel kommen Gas-Außendruckkabel und PVC-Kabel zum Einsatz. Der Blindleistungsbedarf der Kabel und Freileitungen wird von der Betriebsspannung sowie der Auslastung bzw. der Stromstärke beeinflusst. Dabei wird der kapazitive Blindleistungsbedarf Q_C von der Spannung und der Kapazität bestimmt [3],

$$Q_C = \omega C_l U^2 \quad 1$$

der induktive Blindleistungsbedarf, durch die Auslastung sowie die Längsinduktivität des Betriebsmittels [3].

$$Q_L = 3\omega L_l I^2 \quad 2$$

Die 110 kV-Kabel weisen hohe Kapazitätsbeläge auf, so dass unabhängig von der aktuellen Leitungsauslastung der kapazitive Blindleistungsbedarf immer überwiegt. Da sich die Wirkleistungsaufnahme im Netz über die Jahre im Betrachtungsbereich nicht signifikant geändert hat (vgl. Abbildung 2), ist dies nicht ursächlich für die Änderungen der Blindleistungsbilanz.

Einen größeren Einfluss haben Änderungen der Leitungslänge. Allerdings gab es nur im Jahr 2021 eine Erweiterung des Kabelnetzes um ca. 3 km. Im Jahr 2024 erfolgte eine Optimierung der Netzstruktur einhergehend mit einem Wegfall von ca. 4 km 110 kV-Kabel. Dies führt zu einem Wegfall von ca. 4 MVar kapazitiv und somit zu einem induktiveren Verhalten, was jedoch scheinbar vor dem Hintergrund anderer Effekte nicht erkennbar ist (vgl. Abbildung 2).

3.3 Umspannebene Hochspannung/Mittelspannung

Aus dem 110 kV-Netz werden mehrere Umspannwerke der Netzebene 4 versorgt, in denen über Transformatoren die unterlagerten 10 bzw. 25 kV-Netze angebunden sind. Die installierte Leistung der Netzebene 4 liegt bei 2.171 MVA [2]. Für die Transformatoren liegen viertelstündliche Wirk- und Blindleistungsmesswerte über die letzten Jahre zur Analyse im Leitsystem vor. Diese wurden für die einzelnen Umspannwerke ausgewertet und zeigen ein heterogenes Bild des Blindleistungsverhaltens.

In Abbildung 4 sind die P/Q-Wolken für drei exemplarische Umspannwerke dargestellt. Dabei sind die Wirk- und Blindleistungsmesswerte aller Transformatoren innerhalb eines Umspannwerkes aggregiert. Anders als bei der P/Q-Wolke in Abbildung 2 werden hier alle Viertelstunden des Jahres abgebildet. Es ist deutlich erkennbar, dass es mehrere Umspannwerke gibt, die ein fast ausschließlich kapazitives Verhalten aufweisen und deren Blindleistungsbedarf sich in den letzten Jahren, analog zu der Entwicklung in Netzebene 2, deutlich kapazitiver entwickelt hat (vgl. UW B und UW C). Daraus kann gefolgert werden, dass die Ursachen für den geänderten Blindleistungshaushalt auch in den unterlagerten Netzebenen zu suchen sind.

Es gibt jedoch auch einzelne Umspannwerke, die keine große Änderung der Blindleistung aufzeigen, wie bspw. UW A. Dieses Umspannwerk weist, anders als UW B und C, ein fast vollständig induktives Verhalten auf.

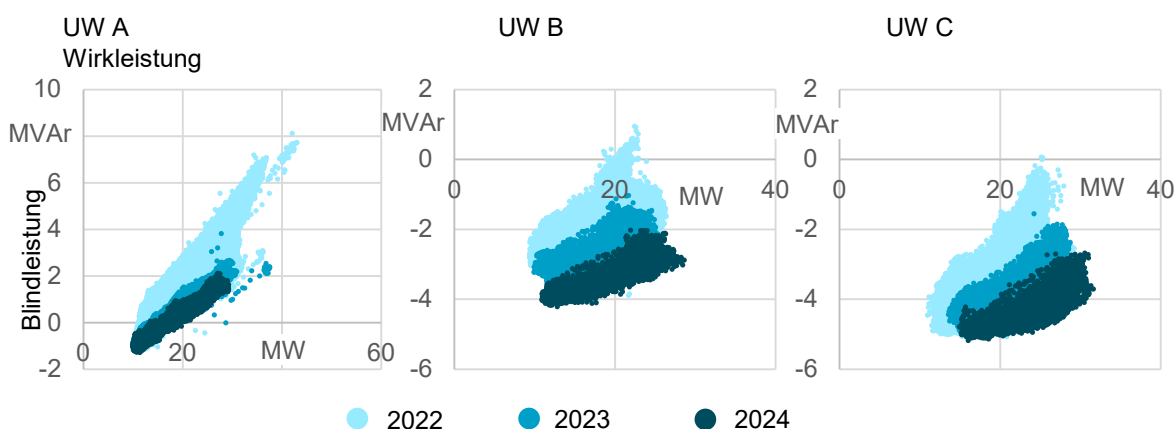


Abbildung 4 Aggregierte P/Q Wolke für 110/10 kV Transformatoren in exemplarischen Umspannwerken

Darüber hinaus gibt es auch einige Umspannwerke, die u.a. große Industrieunternehmen wie bspw. Henkel, Mannesmann Vallourec und Daimler versorgen. Auch hier sind über die letzten Jahre Veränderungen zu beobachten. So ist bspw. seit der Schließung der Produktion von Mannesmann Vallourec ein deutlich kapazitiveres Verhalten, durch den Wegfall hauptsächlich induktiver motorischer Lasten, an dem entsprechenden Umspannwerk festzustellen. Auch dies liefert einen Beitrag zu dem sich insgesamt kapazitiver entwickelnden Blindleistungshaushalt.

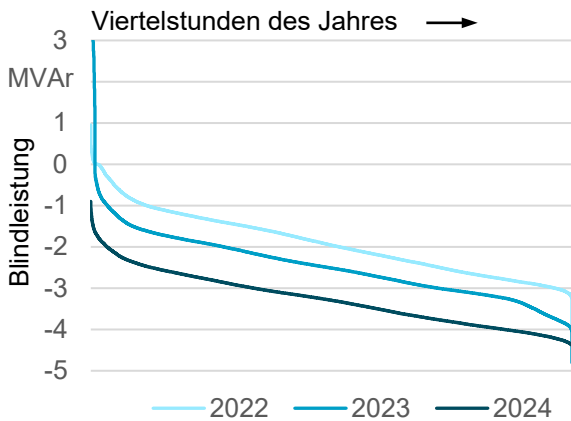


Abbildung 5 Jahresdauerlinie der Blindleistung der 110/10 kV Transformatoren des UW B

In Abbildung 5 sind die Jahresdauerlinien der aggregierten viertelstündlichen Blindleistungswerte aller Transformatoren in Umspannwerk B dargestellt. Das bereits in der P/Q-Wolke in Abbildung 4 ersichtliche zunehmende kapazitive Verhalten ist auf Basis der Jahresdauerlinien noch deutlicher erkennbar. So ist zwischen den Jahren 2022 und 2023 eine Verschiebung in kapazitive Richtung von etwa -0,5 MVar und zum Jahr 2024 eine weitere Verschiebung um ca. -1 MVar beobachtet.

Analog zu Abbildung 3 erfolgt auch auf Netzebene 4 eine Analyse des zeitlichen Verlaufs der Blindleistung. Exemplarische Ergebnisse sind in Abbildung 6 für Umspannwerk C dargestellt. Der Verlauf über das Jahr (auf der linken Seite der Grafik) lässt keine klare Abhängigkeit von der Jahreszeit erkennen. Tendenziell treten die höchsten Werte (fast an der Grenze zum induktiven Verhalten) jedoch im Sommer auf. Wie auf der rechten Seite der Grafik erkennbar, weist die Blindleistung einen ausgeprägten Verlauf über den Tag auf. Die niedrigsten (besonders kapazitiven) Werte treten dabei in den Nachstunden auf. Die maximalen Werte werden am Mittag erreicht. Dies könnte sowohl auf dezentrale Einspeisungen (Photovoltaik) als auch auf die Netznutzung bspw. tagsüber verwendete Geräte zurückzuführen sein.

Die in den Grafiken durch graue Punkte bzw. Linien eingezeichneten Durchschnittswerte für die Wochen bzw. Stunden im Jahr 2023 zeigen ein zunehmend kapazitives Verhalten vom Jahr 2023 zum Jahr 2024 für das Umspannwerk B.

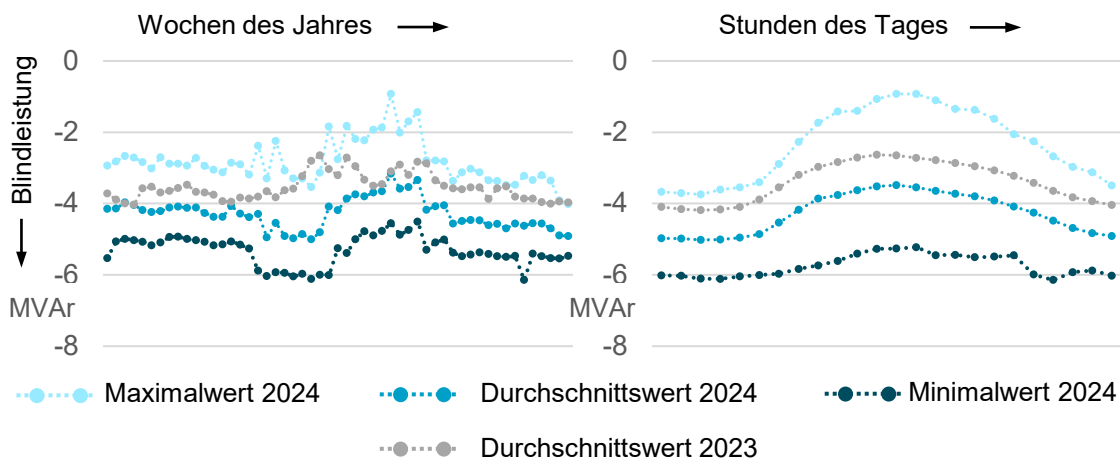


Abbildung 6 Aggregierte Blindleistung der 110/10 kV Transformatoren des UW C im Jahr 2024 auf Wochen- bzw. Stundenbasis

3.4 Mittelspannungsebene

Wie in den vorherigen Unterkapiteln aufgezeigt, sind die Änderungen des Blindleistungshaushaltes nicht ausschließlich über Änderungen in den Netzebenen 2 und 3 zu erklären, sondern die Messwerte der Mehrzahl der Umspannwerke der Netzebene 4 zeigen, dass das zunehmende kapazitivere Verhalten auch aus den unterlagerten Netzebenen resultiert.

Die Mittelspannungsnetze der Netzgesellschaft Düsseldorf werden hauptsächlich mit einer Netzspannung von 10 kV und als offene Ringe betrieben. Es erfolgt nicht in allen Umspannwerken eine Erfassung und Archivierung von Blindleistungsmesswerten im Leitsystem für die jeweiligen einzelne Abgänge. Deshalb wird nur für Abgänge in ausgewählten Umspannwerken, bei denen das zunehmend kapazitive Verhalten besonders stark ausgeprägt ist und entsprechende Messwerte auf Abgangsebene verfügbar sind, eine Analyse durchgeführt. Die folgenden exemplarischen Ergebnisse gehören zu Abgängen des im vorherigen Unterkapitel als UW C bezeichneten Umspannwerks.

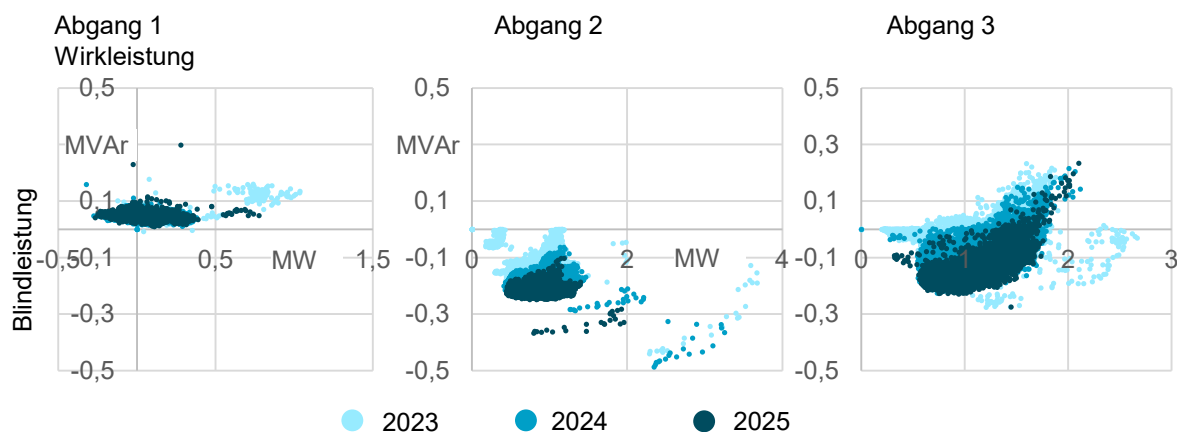


Abbildung 7 P/Q-Wolke für ausgewählte Mittelspannungsabgänge in Umspannwerk UW C

Die Entwicklung der Blindleistung der einzelnen Abgänge ist heterogen. Dies ist auch an den exemplarisch in Abbildung 7 dargestellten P/Q-Wolken für drei Abgänge aus Umspannwerk C erkennbar. In Abgang 1 ist über die Jahre 2023 bis 2025 keine Veränderung mit Hinblick auf die Blindleistung ersichtlich und der Abgang weist ein leicht induktives Verhalten auf. In den Abgängen 2 und 3 hingegen, ist eine deutliche Verschiebung in kapazitive Richtung zu erkennen. Die von den vorherigen Spannungsebenen abweichenden Betrachtungsjahre (2023 bis 2025) sind der Verfügbarkeit der Messwerte geschuldet. Die Werte für das Jahr 2025 wurden bis September berücksichtigt.

Um das unterschiedliche Blindleistungsverhalten der einzelnen Abgänge weiter zu untersuchen, wurde zunächst der Blindleistungsbedarf der Mittelspannungskabel der jeweiligen Abgänge im Leerlauf (vgl. Kapitel 3.2 Formel 1) ermittelt. Für die drei in Abbildung 6 dargestellten Abgänge ergibt sich eine kapazitive Ladeleistung von 20 kVAr (Abgang 1), 76 kVAr (Abgang 2) und 80 kVAr (Abgang 3). Da sich das Wirkleistungsverhalten über die Jahre nicht deutlich ändert, ist Änderung der Blindleistung nicht durch einen geänderten Blindleistungsbedarf der Kabel (bspw. durch niedrigere Auslastungen) erklärbar.

Es zeigt sich, dass die Abgänge mit einem zunehmenden kapazitiven Blindleistungsverhalten meist eine größere Anzahl an Netzstationen aufweisen, wohin gegen die Abgänge mit nur geringen Änderungen tendenziell über mehr Kunden- und nur wenig Netzstationen verfügen.

Zusätzlich erfolgte auch auf Abgangsebene eine Analyse des zeitlichen Verlaufes auf Jahres- und Stundenbasis. Die entsprechende Auswertung für Abgang 3 in Umspannwerk C ist exemplarisch in Abbildung 8 dargestellt. Obwohl zu allen Stunden des Tages minimale Blindleistungswerte in vergleichbarer Größenordnung auftreten, zeigen die durchschnittlichen und maximalen Blindleistungswerte einen stark tageszeitabhängigen Verlauf. Dies legt nahe, dass tagsüber Geräte mit eher induktivem Verhalten, bspw. motorische Verbraucher, zum Einsatz kommen oder dezentraler Erzeugungsanlagen einen Einfluss haben.

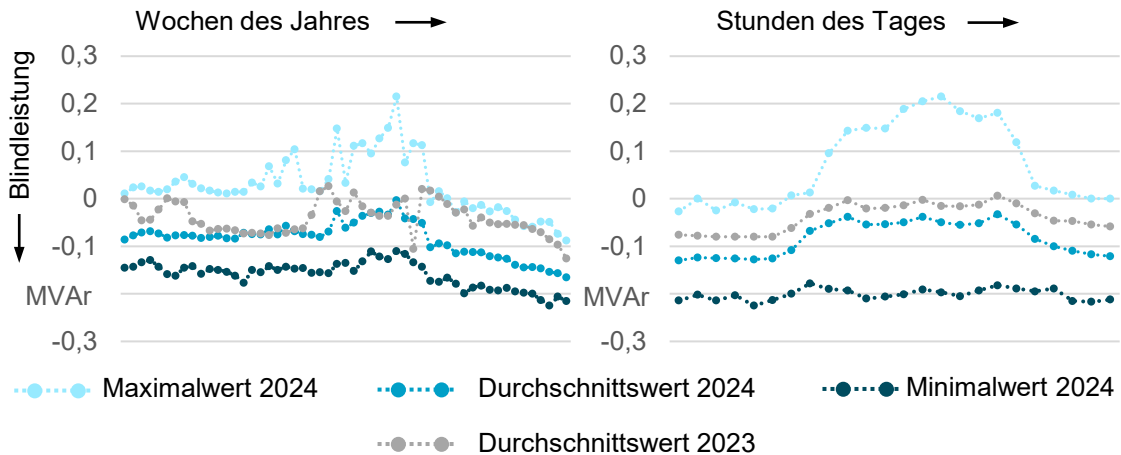


Abbildung 8 Blindleistung des Abgangs 3 im UW C im Jahr 2024 auf Wochen bzw. Stundenbasis

So stieg die installierte Leistung der PV-Anlagen im Netzgebiet Düsseldorf von 37 MW in 2021 auf über 80 MW in 2024. Bisher erfolgt jedoch keine Vorgabe einer Blindleistungsregelung (bspw. Q(U)-Regelung oder fester $\cos(\varphi)$) durch die Netzgesellschaft und eine Analyse einzelner Anlagen zeigt, dass üblicherweise eine Einspeisung mit einem $\cos(\varphi)$ von eins erfolgt oder ein induktives Verhalten vorliegt und somit kein Beitrag zu dem zunehmend kapazitiveren Verhalten festzustellen ist.

3.5 Umspannebene Mittelspannung/Niederspannung

Da insbesondere auf Abgängen mit einer großen Anzahl an unterlagerten Netzstationen in den letzten Jahren ein zunehmend kapazitives Verhalten zu beobachten ist, erfolgt eine Analyse der unterlagerten Niederspannungsnetze. Die in einer Vielzahl an Stationen verbauten Smight Messsysteme ermöglichen nur eine Erfassung der Niederspannungsabgangs- bzw.

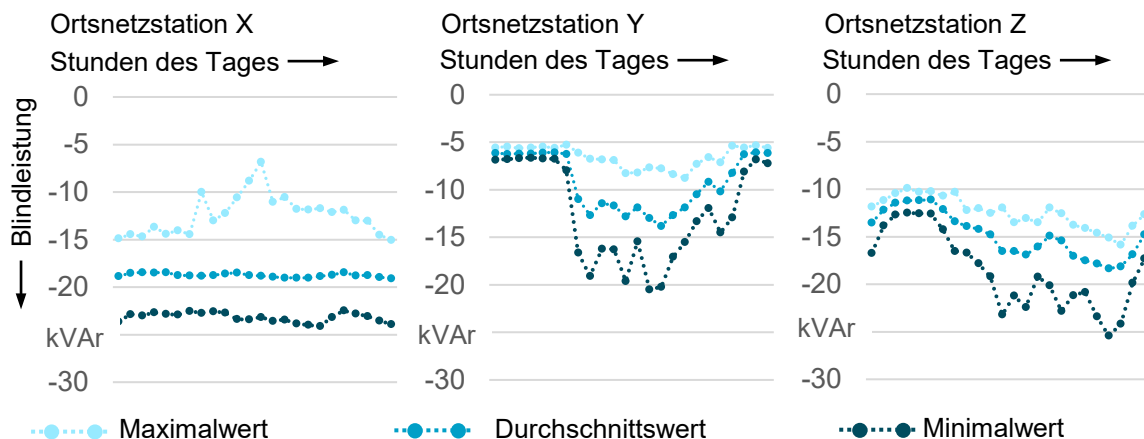


Abbildung 9 Blindleistung der Stationen X, Y und Z in den Abgängen B und C auf Stundenbasis

Transformatorströme, jedoch keine Blindleistungswerte. Deshalb wird auf historische Messwerte der in einzelnen Ortsnetzstationen verbauten Janitza Messgeräten zurückgegriffen, die eine Analyse der Wirk- und Blindleistungsmesswerte am Transformator der jeweiligen Station ermöglichen. Zusätzlich wurden in einzelnen Ortsnetzstationen wochenweise temporär Messtechnik eingebaut.

In Abbildung 9 sind die tageszeitabhängigen Blindleistungsverläufe für drei exemplarische Ortsnetzstationen in den Mittelspannungsabgängen B und C dargestellt. Für die Station X wird als Datenbasis für die minimalen, durchschnittlichen und maximalen Blindleistungswerte auf die Messwerte des Jahres 2024 zurückgegriffen. Für die Stationen Y und Z werden zehnmündige Messwerte aus einer temporären Messung über den Zeitraum von je einer Woche im Jahr 2025 verwendet (KW 37). Es wird deutlich, dass sich die Niederspannungsnetze alle kapazitiv verhalten. Bei Stationen mit Messwerten über mehrere Jahre konnte eine tendenziell kapazitivere Entwicklung im Laufe der Jahre festgestellt werden. Mit Hinblick auf die geringen Kapazitätsbeläge der Niederspannungskabel, kurze Kabelstrecken und niedrige Spannungen im Bereich von 0,4 kV muss das kapazitive Verhalten der einzelnen Niederspannungsnetze durch die Netzkunden verursacht werden. Da in der Literatur teilweise auch induktives Verhalten von Niederspannungskunden beschrieben wird, erfolgt eine Analyse der Niederspannungsnetze [4].

3.6 Niederspannungsnetz

Da weder Messwerte für die Blindleistungsflüsse auf einzelnen Niederspannungsabgängen noch TAF 10 Zustandsdaten aus intelligenten Messsystemen einzelner Netzkunden vorliegen, ist keine weitergehende Analyse in spezifischen Niederspannungsnetzen möglich. Um trotzdem mögliche Erklärungen für das zunehmend kapazitive Verhalten zu finden, erfolgt eine messtechnische Untersuchung einzelner Verbraucher. Dazu kommt ein Präzisionsmessgerät (LMG 640 von ZES Zimmer) zum Einsatz, um auch kleine Wirk- und Blindleistungen exakt zu erfassen.

Verbraucher	P [W]	Q [VAr]	cos(φ)
iPhone-Ladegerät (Laden)	12,6	26,9 kap.	0,42 kap.
Laptop-Ladegerät (Laden)	21,4	51,9 kap.	0,38 kap.
Laptop-Ladegerät (Std-by)	0,05	12,7 kap.	0,01 kap.
LED-Leuchtmittel	4,64	7,48 kap.	0,53 kap.

Abbildung 10 Blindleistungsbedarf unterschiedlicher Verbraucher

Die, in Abbildung 10, dargestellte Tabelle zeigt die Messergebnisse für einige ausgewählte Verbraucher. Dabei ist auffällig, dass bspw. moderne Ladegeräte und LED-Leuchtmittel hohe kapazitive Blindleistungswerte

und damit einhergehend einen sehr niedrigen Leistungsfaktor aufweisen. In den letzten Jahren ist die Anzahl an Smartphones, Tablets und Laptops in privaten Haushalten stark angestiegen [5], was einen Einfluss auf den kapazitivierten Blindleistungshaushalt hat.

Zwischen 2021 und 2024 ist die installierte Leistung von Ladeinfrastruktur, die meist in Netzebene 7 angeschlossen ist, in Düsseldorf von 11 auf 30 MW gestiegen. Die Messung der Wirk- und Blindleistungsaufnahme eines E-PKWs (Renault Zoe) an einer Wallbox zeigt ein ebenfalls kapazitives Verhalten bei einem Leistungsfaktor von 0,95 kap (Messung erfolgte mit PQ-Box 50).

Zählertyp	P [W]	Q [VAr]	cos(φ)
modern Messeinrichtung 1	1,64	1,65 ind.	0,7 ind.
modern Messeinrichtung 2	1,34	29,36 kap.	0,05 kap.
Ferraris Drehstromzähler	3,61	15,88 ind.	0,23 ind.

Abbildung 11 Blindleistungsbedarf unterschiedlicher Zählertypen

In den letzten Jahren erfolgt ein Austausch von Stromzählern im Netzgebiet. So werden konventionelle Ferraris-Zähler durch moderne Messeinrichtungen (mMe) bzw. intelligente Messsysteme (iMSys) ersetzt. Mit

Hilfe des Präzisionsmessgeräts LMG 640 wurde der Wirk- und Blindleistungsbedarf leerlaufender konventioneller Ferraris-Zähler sowie moderner Messeinrichtungen unterschiedlicher Hersteller gemessen. Die in Abbildung 11 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die konventionellen Zähler ein stark induktives Verhalten aufwiesen, wohingegen die mMe teilweise ein kapazitives bzw. ein nur geringfügig induktives Verhalten zeigen.

Auch wenn die Blindleistung eines einzelnen Zählers nicht groß ist, so kann (je nach verbauten Geräten) der Ausbau von 50.000 Ferraris-Zählern und Einbau von 70.000 mMe, der zwischen 2022 und 2024 im Netzgebiet Düsseldorf erfolgte, eine zusätzliche kapazitive Blindleistung von über 2,5 MVar verursachen und damit einen nennenswerten Einfluss haben.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Analysen und Ergebnisse zeigen, dass unterschiedliche Effekte in den verschiedenen Spannungsebenen den Blindleistungshaushalt und das zunehmend kapazitive Verhalten beeinflussen. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass auch die unterlagerten Mittel- und Niederspannungsnetze einen Einfluss haben. Die Messungen einzelner Verbraucher aber insbesondere auch von Zählern zeigen, dass diese einen nennenswerten Einfluss auf die Blindleistungsbilanz haben.

Im Laufe der Analyse hat sich der Mehrwert von Messwerten gezeigt, so dass zukünftig stärker auf die Erfassung und Archivierung entsprechender Messwerte auf Abgangsebene in der Mittel- und Niederspannungsebene geachtet werden sollte. Des Weiteren sollten TAF 10 Daten zur Analyse des Blindleistungsverhalten einzelner Netzkunden bestellt und ausgewertet werden, um insbesondere in den Niederspannungsnetzen die Datenlage zu verbessern.

Aktuell wird die messtechnische Analyse weiterer Verbraucher wie bspw. Wärmepumpen sowie weiterer mMe und Smart Meter Gateways geplant. Mit Hinblick auf die mehr als 200.000 Ferraris-Zähler, die aktuell noch im Netzgebiet verbaut sind, eine wichtige Information zur Abschätzung der Auswirkungen eines Tausches auf den zukünftigen Blindleistungshaushalt und zur Bemessung möglicher Gegenmaßnahmen.

5 Referenzen

- [1] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, „SMARD“, [Online].
- [2] Netzgesellschaft Düsseldorf mbH, *Veröffentlichungspflichten nach §23c EnWG, 2025*
- [3] D. Oeding und B. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, Berlin: Springer Vieweg, 2016.
- [4] T. Tjaden, J. Bergner, J. Weniger und V. Quaschnig, *Representative electrical load profiles of residential buildings in Germany with a temporal resolution of one second*, Berlin, 2015
- [5] Destatis Statistisches Bundesamt, „Daten aus der EVS zur Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik in Deutschland“, [Online].