

Darstellungsvarianten von 15-min Zeitreihen zur effizienten Analyse des Strom-Verteilernetzes

Christoph Groß

Salzburg Netz GmbH, Bayerhamerstraße 16, 5020 Salzburg, Österreich +43 676 8682 2699
christoph.groiss@salzburgnetz.at, www.salzburgnetz.at

Kurzfassung: In der Energietechnik liegen für zahlreiche Datenpunkte 15-min-Zeitreihen über längere Zeiträume vor. Dieser Beitrag thematisiert die Fragestellung, wie diese Messwerte dargestellt werden können, um jene Effekte und Auffälligkeiten erkennen zu können, welche für Stromnetzbetreiber relevant sind. Die hier vorgestellten Darstellungsvarianten umfassen eine Jahresprofil-, eine Heatmap-, eine Tageslastprofil- und eine Scatter-Plot-Darstellung. In weiterer Folge wird gezeigt, wie diese Darstellungsvarianten in der Praxis genutzt werden können. Zu den Anwendungsfälle zählen unter anderem: „Bestimmung der relevanten Auslastungswerte für die Lastflussrechnung“, „Erkennen von Sonderschaltzuständen“, „Bewertung der Blindleistungsbilanz“, „Analyse der Blindleistungseinstellung von Erzeugungsanlagen“

Keywords: Netzauslastung, Zeitreihenanalyse, Jahresprofile, Heatmap, Scatter-Plots

1 Einleitung

Die Anzahl an Datenpunkten im elektrischen Verteilnetz nimmt kontinuierlich zu. Dies stellt gleichzeitig die Motivation zu diesem Beitrag dar. Die Fragestellung lautet, wie diese Datenpunkte dargestellt werden können, um einerseits einen schnellen Überblick zu dem dahinterliegenden Profil zu erhalten. Andererseits, um mit einfachen Mitteln jene Effekte herauslesen zu können, welche für die Netzentwicklung eines elektrischen Verteilernetzes relevant sind.

Mögliche Datenquellen für 15-min-Zeitreihen werden in [1] beschrieben. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf den Messwerten, welche im Leitsystem aufgezeichnet werden. In Umspannwerken liegen hierüber Zeitreihen für Wirk- und Blindleistung sowie Spannungswerte an den Abgängen vor. Die Messwertaufzeichnung reicht typischerweise 7 Jahre zurück. Die Zeitreihen können aus dem Leitsystem abgefragt und exportiert werden. Als Export-Ergebnis liegen diese in einem csv-Format vor. Die Weiterverarbeitung und automatisierte Batch-Diagramm-Erstellung erfolgt in Matlab.

Der Beitrag gliedert sich in die vier unterschiedlichen Darstellungsvarianten:

- Jahresprofil (Tages-Mittel und Tages-Maximalwerte)
- Heatmap
- Tageslastgang (Mittelwert und Konfidenzintervalle)
- Scatter-Plot

Die hier vorgestellten Darstellungsvarianten und Analyse-Tools können analog auf andere Zeitreihen angewendet werden. Im Speziellen gilt dies zB für Profilmessungen von Trafostationen oder anderen relevanten Netzteilnehmer:innen.

2 Jahresprofil-Darstellung

Abbildung 1 zeigt das Jahresprofil der Wirkleistung eines Umspannwerk-Abgangs (30-kV-Netz). Die rote Linie stellt die 365 Tages-Mittelwerte dar. Die graue Hüllkurve wird durch das jeweilige 15-min Tages-Minimum bzw. Tages-Maximum gebildet. Die dunkelgraue Hüllkurve zeigt analog die 1-h Tages-Minimum bzw. 1-h Tages-Maximalwerte.

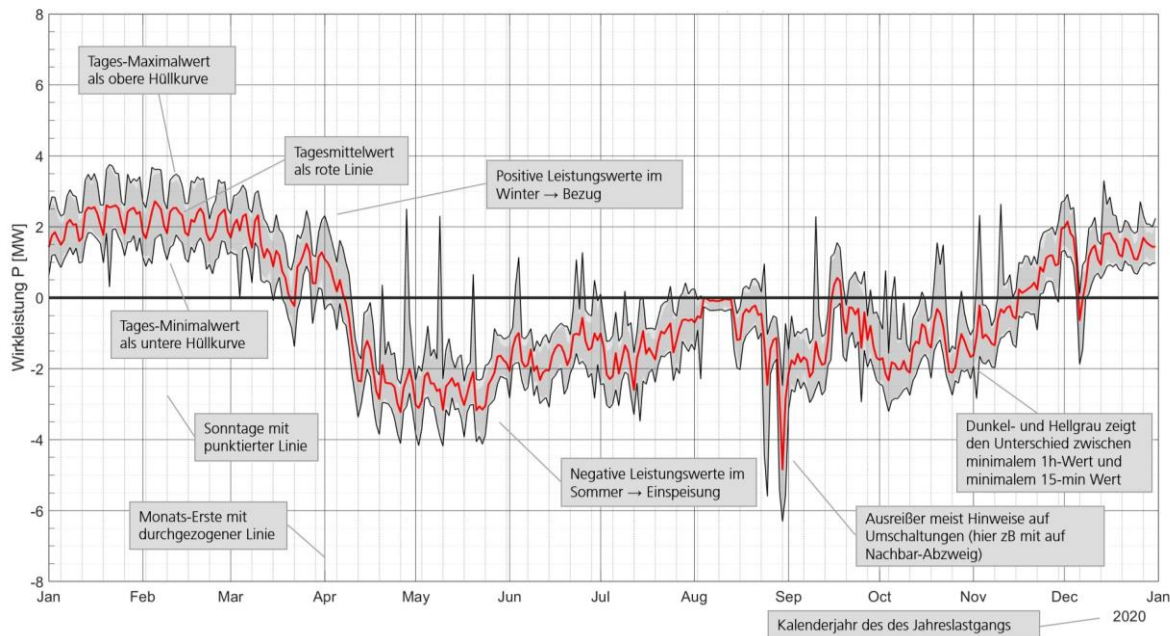


Abbildung 1: Jahresprofil eines Umspannwerks-Abgangs (30-kV-Netz)

Die Kurve ist im Verbraucherzählpeilsystem dargestellt. Positive Werte bedeuten somit einen Bezug aus dem Umspannwerk, negative Werte zeigen Rückspeisesituationen. Die durchgezogenen vertikalen Linien zeigen jeweils den ersten Tag des Monats. Die punktierten vertikalen Linien markieren die Sonntage.

2.1 Minimale und Maximale Leitungsauslastung für Referenzlastfluss

In der Anschlussbeurteilung von Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen werden meist die typischen Hochlast- bzw. Rückspeisesituationen betrachtet, um zu berechnen, ob die angefragten Anlagen im Netz angeschlossen werden können. Im Mittelspannungsnetz liegen jedenfalls für den Abgang im Umspannwerk genaue Messdaten (meist Wirk- und Blindleistung) vor. Für Lasten und Einspeisungen entlang der Leitung liegen hingegen im Allgemeinen keine detaillierten Profilmessungen vor. Jedoch sind typischerweise die angeschlossenen Leistungen je Trafostation bekannt und erlauben somit eine Bestimmung der Größenordnung des jeweiligen Knotens.

Zur Bestimmung der beiden Referenzlastflüsse „Winter-Hochlast“ und „Sommer-Erzeugung“ ist somit die Aufgabenstellung, dass die Leistungen entlang der Leitung so skaliert werden, dass der sich ergebende Lastfluss exakt mit den gemessenen Werten im Umspannwerk übereinstimmt. Zielsetzung ist es nun aus den gemessenen Jahresprofilen jene Zeitpunkte und somit Lastwerte zu identifizieren, welche für die Referenzlastflüsse relevant sind.

Abbildung 2 zeigt den Jahreslastgang der Wirkleistung des Abgangs „H“ im Umspannwerk „F“. Im Profil sind einzelne Ausreißer nach oben und unten zu sehen. Da sich

Wirkleistungsauslastungen typischerweise nicht „sprunghaft“ ändern, können diese einzelnen Extremwerte ignoriert werden. Es handelt sich hierbei häufig um Umschaltvorgänge, welche kurzzeitig eine stark veränderte Leistung am UW Abgang zeigen. In diesem Fall ist bei einem benachbarten UW Abgang genau die gleiche Spitze mit umgekehrtem Vorzeichen zu sehen.

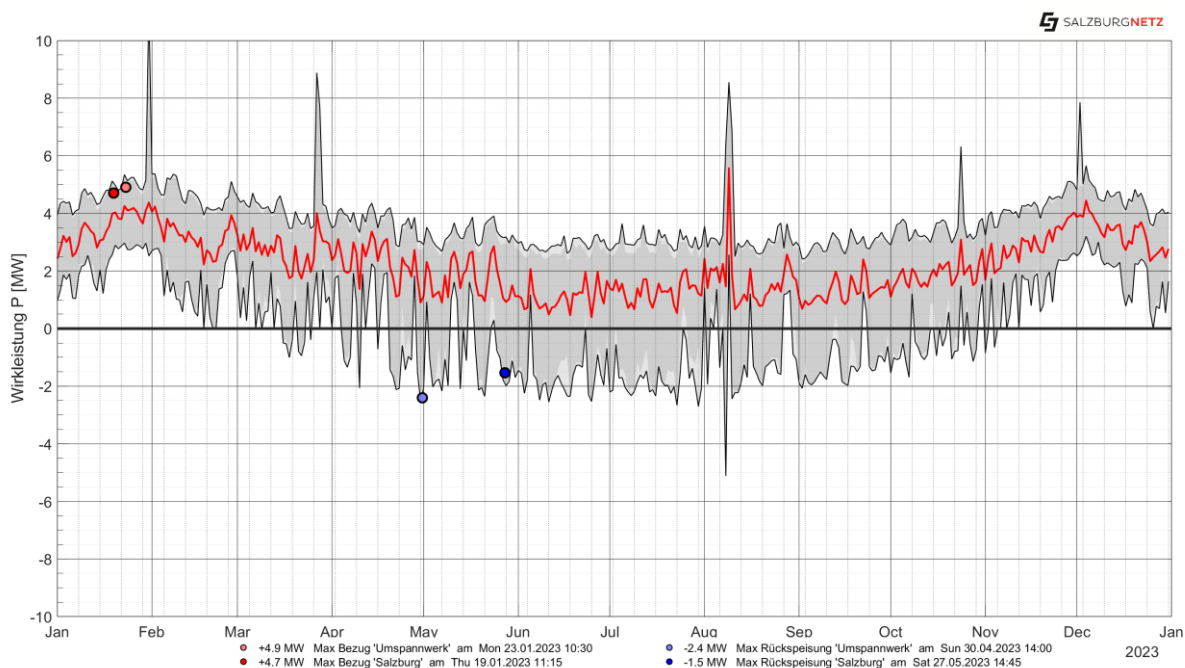


Abbildung 2: Jahreslastprofil der Wirkleistung des Abgangs "H" im Umspannwerk "F"

Die visuelle Auswertung zeigt eine „Winter-Hochlast“ von rund 5,5 MW, welche sowohl Anfang Februar als auch Anfang Dezember zu beobachten ist. In Rückspeiserichtung sind Leistungen von etwa -2,5 MW zu beobachten. Diese Spitzenwerte der Rückspeisung fallen häufig auf Sonntage (siehe vertikale punktierte Linien).

In Abbildung 2 sind weiters vier spezielle Zeitpunkte mit roten bzw. blauen Punkten gekennzeichnet. Das Datum, die Uhrzeit sowie die zugehörigen Leistungswerte sind im unteren Bereich des Diagramms abzulesen. Der dunkelrote und der dunkelblaue Punkt kennzeichnen die beiden Zeitpunkte, in denen im Jahr 2023 der Maximalbezug bzw. die maximale Rückspeisung im gesamten Netzgebiet aufgetreten ist („globale Extremwerte“). Der hellrote bzw. hellblaue Punkt hingegen kennzeichnet die Zeitpunkte der „lokalen Extremwerte“ in denen im jeweiligen Umspannwerk die maximale bzw. minimale Leistung aufgetreten ist.

Anhand dieser Zeitpunkte kann abgelesen werden, ob sich der betrachtete UW Abgang (wie hier im Beispiel) „typisch“ verhalten hat. Sowohl zum Zeitpunkt, an dem im gesamten Netzgebiet der Maximalbezug aufgetreten ist (Do 19.01.2023 um 11:15) als auch zum Zeitpunkt, in dem das Umspannwerk den maximalen Leistungsbezug verzeichnet hat (Mo 23.1.2023 um 10:30), zeigt auch dieser UW Abgang verhältnismäßig hohe Bezugswerte von 4,7 MW bzw. 4,9 MW. Die gleiche Aussage trifft auch für die Rückspeisespitze zu.

In Abbildung 3 ist für den gleichen Abgang „H“ des Umspannwerkes „F“ das Jahresprofil der Blindleistung dargestellt. Auch in diesem Diagramm sind die vier gleichen Zeitpunkte im Profil gekennzeichnet. Allgemein ist im Diagramm ersichtlich, dass praktisch nur negative Blindleistungswerte aufgetreten sind. Dies bedeutet im Verbraucherzählpeilsystem, dass sich

der UW-Abgang wie eine Kapazität verhält und somit Blindleistung in das überlagerte Netz eingespeist wird („übererregt“). Dieser Umspannwerksabgang weist einen hohen Anteil an Mittelspannungskabel auf, welche für eine kontinuierliche Blindleistungserzeugung sorgen [2]. Im konkreten Fall eine Blindleistungserzeugung von rund 2 MVar.

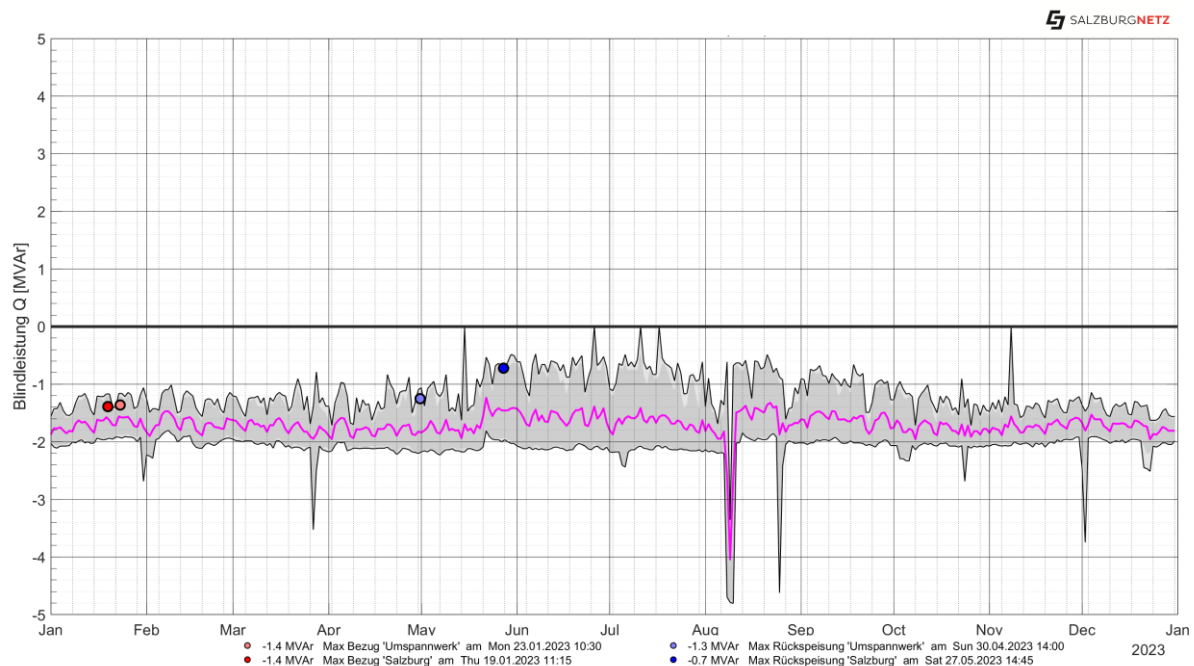


Abbildung 3: Jahreslastprofil der Blindleistung des Abgangs "H" im Umspannwerk "F"

Sobald die Leitung in Längsrichtung (durch Bezug oder Einspeisung) belastet wird, „verbraucht“ die Leitung Blindleistung und die Blindleistungsbilanz des Umspannwerksabgangs tendiert gegen Null. Im „Winter-Hochlastfall“ ist eine Blindleistungsbilanz von rund -1 MVar zu beobachten. Im „Sommer-Einspeisefall“ von -0,5 MVar.

Mit Hilfe dieser grafischen Analyse können die relevanten Maximal- und Minimalwerte der Wirk- und Blindleistung verhältnismäßig rasch bestimmt werden. In weiterer Folge werden genau diese Werte verwendet, um im Netzberechnungsprogramm die hinterlegten Leistungen so zu skalieren, sodass in sich den Referenzlastflüssen „Winter-Hochlast“ und „Sommer-Erzeugung“ exakt jene Wirk- und Blindleistungswerte am Umspannwerksabgang einstellen.

2.2 Historische Lastentwicklungen

Ein weiterer Anwendungsfall der Jahreslastprofile besteht darin, die historische Entwicklung der Netzauslastung zu analysieren. Abbildung 4 zeigt wieder das Jahresprofil der Wirkleistung des Umspannwerksabgangs „H“ im Umspannwerk „F“. Im Gegensatz zu Abbildung 2 wird hier aber nicht das Jahr 2023, sondern das Jahr 2019 dargestellt. Der direkte Vergleich der beiden genannten Abbildungen zeigt, dass sich der maximale Winter-Hochlastfall mit rund 5,5 MW kaum verändert hat. Beim Profil aus dem Jahr 2019 (Abbildung 4) sind in den Sommermonaten ebenfalls die Minima an den Sonntagen (vertikale punktierte Linie) zu erkennen. Hier ist ein Netto-Bezug von rund 0,5 MW zu sehen. Im Gegensatz zum Profil aus dem Jahr 2023 (Abbildung 2) ist hier jedoch zu keinem Zeitpunkt im Jahr eine Rückspeisung aufgetreten.

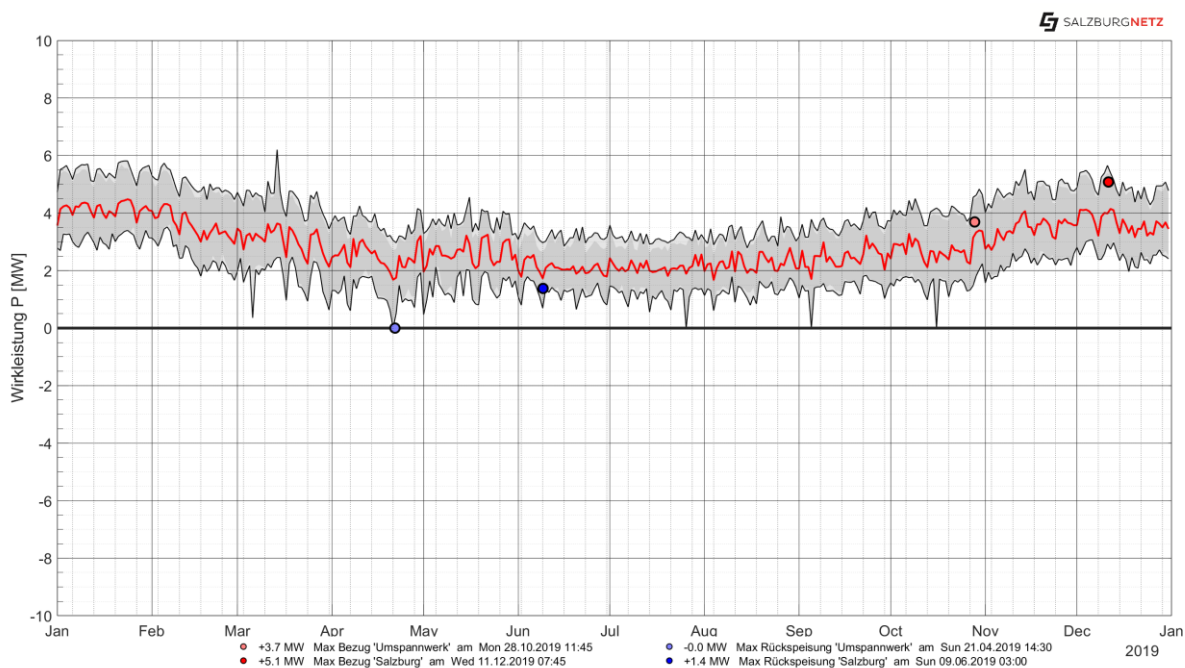


Abbildung 4: Historisches Jahreslastprofil der Wirkleistung des Abgangs "H" im UW "F" aus dem Jahr 2019

3 Heatmap-Darstellung

Das Heatmap-Diagramm (Abbildung 5) stellt alle 35040 Viertelstunden-Werte in einem Diagramm dar. Die X-Achse zeigt die 365 Tage des Jahres. Die Y-Achse die Tageszeit von 0 bis 24 Uhr. Jeder Punkt im Diagramm stellt anhand der Farbe den (Leistungs-)Wert in dieser Viertelstunde dar. Im Diagramm kann der konkrete Leistungswert verhältnismäßig schlecht abgelesen werden. Dafür eignet es sich verhältnismäßig gut, um Strukturen im Profil zu erkennen.

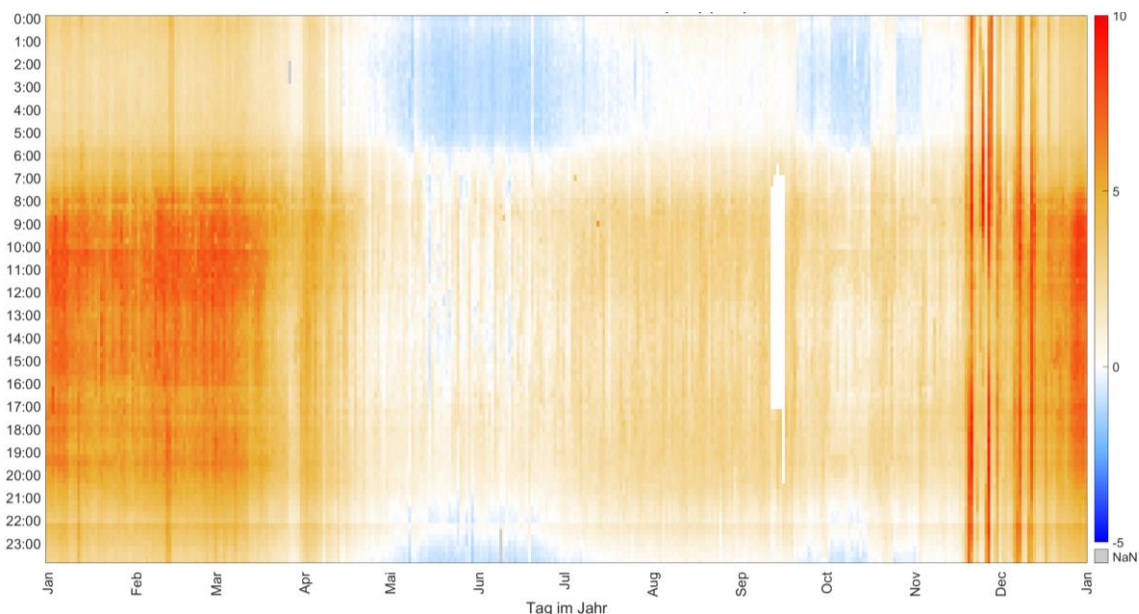


Abbildung 5: Heatmap des Abgangs „H“ im Umspannwerk „A“ (30-kV-Netz)

Anhand der horizontalen Linie um 22:00 ist der Lastanstieg durch das TRA-Signal zu erkennen. Die roten Bereiche zeigen die Hochlastzeiten. Dies ist einerseits die Wintersaison,

an denen unter Tag ein hoher Bezug auftritt. Andererseits ist ca. Mitte November die Beschneigungsphase zu erkennen, an dem auch in den Nachtstunden ein ‚roter-Wert‘ (hoher Bezug) auftritt.

3.1 Verhalten von Erzeugungsanlagen

In Abbildung 5 ist in den Sommermonaten erkennbar, dass speziell in den Nachtstunden (bei Niedriglast) eine Rückspeisung stattfindet; unter Tag hingegen ist hier die Rückspeisung geringer bzw. es ergibt sich ein Netto-Bezug. Aus diesem Verhalten kann auf eine Wasserkrafteinspeisung geschlossen werden. Bei PV-Einspeisung würden die ‚blauen-Bereiche‘ unter Tag auftreten.

Diese Information ist ebenso für die Anschlussbeurteilung neuer Erzeugungsanlagen relevant. Die maximale Rückspeisung dieses Umspannwerksabgang beträgt hier 1,5 MW. Diese Rückspeisung tritt typischerweise in den Nachtstunden auf. Sofern gesichert ist, dass diese Rückspeisung nicht um die Mittagsstunden auftritt, so kann dies bei der Beurteilung von angefragten Photovoltaik-Anlagen berücksichtigt werden.

3.2 Identifizieren von Sonderschaltzuständen

In Abbildung 5 sind ebenso Sonderschaltzustände gut zu erkennen. Mitte September haben Arbeiten stattgefunden, sodass der Umspannwerksabgang temporär abgeschaltet wurde. In den Nachtstunden ist eine Leitungsauslastung sichtbar. Von etwa 7:00 bis 17:00 ist der Abzweig freigeschalten worden (‚weißer-Bereich‘).

Diese Umschaltvorgänge sind typischerweise ebenso in der Darstellungsvariante „Jahresprofil“ (siehe Kapitel 2) zu erkennen. Wenn ein grafisch ungewöhnlicher Profilverlauf zu beobachten ist (zB Phasen, in denen die Leistung exakt Null beträgt), so gibt es häufig einen benachbarten Umspannwerksabgang, bei dem im gleichen Zeitraum eine Leistungsänderung in die gegenteilige Richtung zu beobachten ist.

3.3 Identifizieren von Erdschlüssen

In erdschlusskompensierten Netzen liegen im Umspannwerk typischerweise Messwerte für die Spannung und dem Strom an der Löschspule (bzw. dem Sternpunkt am Trafo/Sternpunktbildner) vor. Sollte diese U_0 -Spannung nicht direkt messtechnisch erfasst sein, so kann diese auch aus den drei Phasen-Spannungsmesswerten der Sammelschiene bzw. Umspannwerksabgang berechnet werden.

Abbildung 6 zeigt die Heatmap-Darstellung der U_0 -Spannung im Umspannwerk „G“. Dieses zeigt praktisch ausschließlich den Spannungswert Null, da im Normalbetrieb keine Verlagerungsspannung am Sternpunkt des Umspanners auftritt. Die beiden grauen Bereiche sind einerseits auf die Zeitumstellung (März) bzw. einer Datenlücke (Juni) zurückzuführen.

Anhand der rot dargestellten Zeitbereiche können Erdschlussereignisse abgelesen werden. Hier ist eine Verlagerungsspannung von etwa 17 kV ($30 \text{ kV}/\sqrt{3}$) vorgelegen. In der Abbildung ist ersichtlich, dass sowohl im Juni als auch im Juli jeweils für etwa 15 min ein Erdschluss vorgelegen hat. Die Heatmap Darstellung ermöglicht somit eine einfache und schnelle Möglichkeit, um Häufigkeit und Dauer von Erdschlüssen zu analysieren.

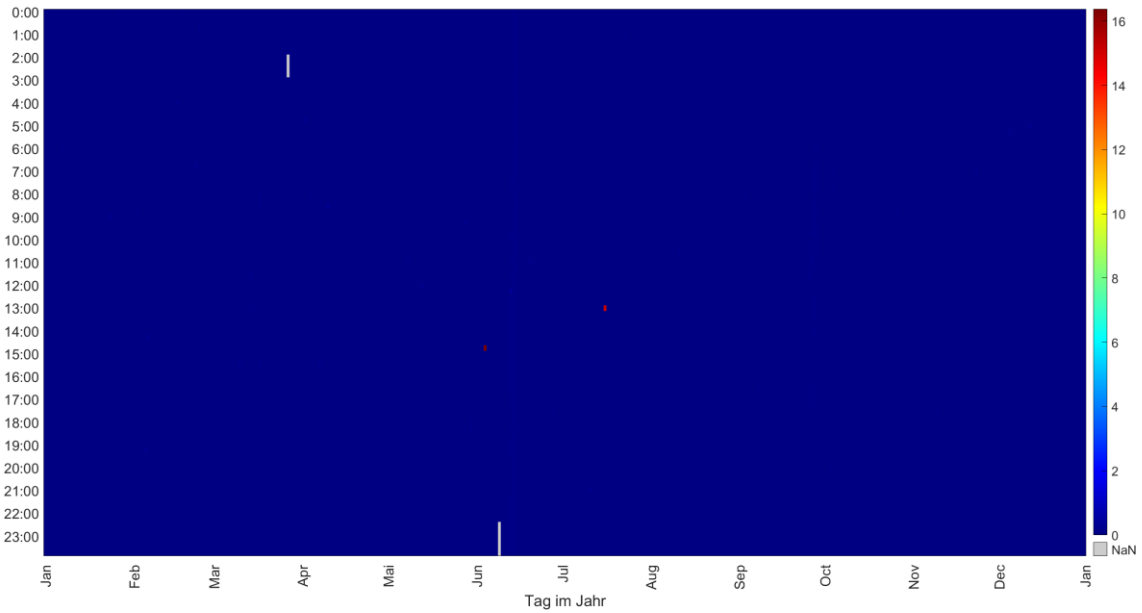


Abbildung 6: Heatmap Profil der U₀-Spannung im Umspannwerk „G“

4 Standard-Tageslastprofil

Anhand des Jahresprofils wird für jede Uhrzeit der durchschnittliche Wert gebildet und somit ein ‚mittlerer Tageslastgang‘ berechnet. In den Diagrammen (siehe Abbildung 7) ist dies die durchgezogene violette Linie.

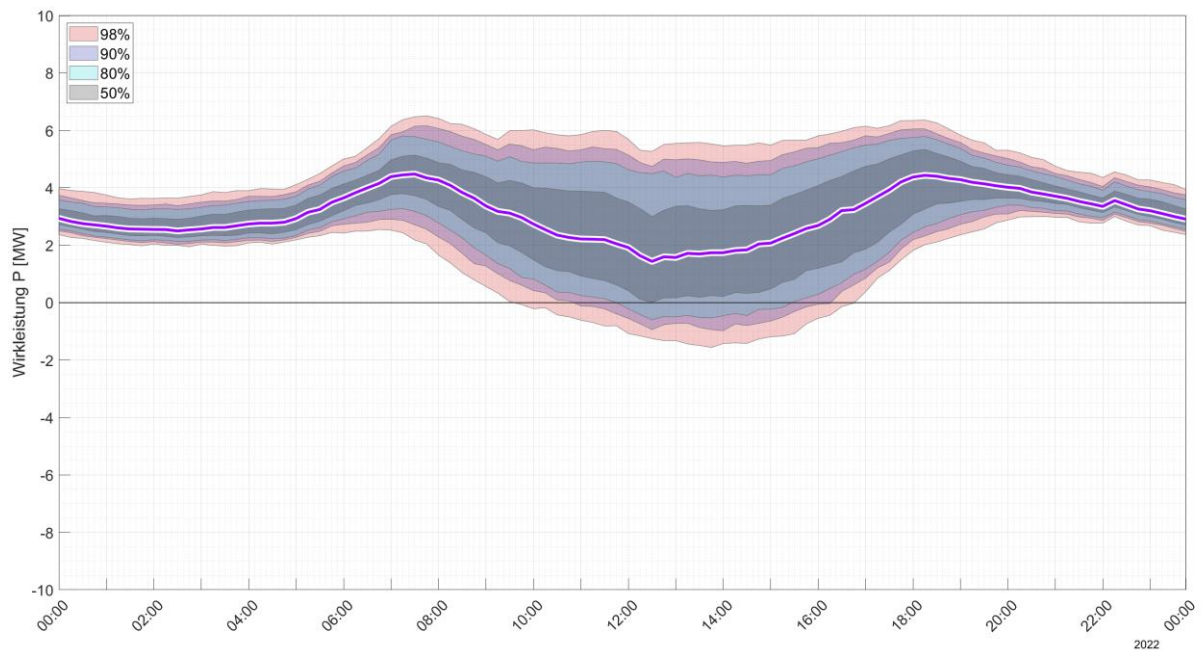


Abbildung 7: Standard Tageslastgangsprofil eines Umspannwerks-Abgangs (30-kV-Netz)

Gleichzeitig stellen die farbigen Bereiche das Konfidenzintervall dar. Der dunkelgraue Bereich zeigt jenen Bereich, in dem sich das Profil zu 50% der Fälle befindet. Der hellgraue Bereich

markiert jenen Bereich, in dem sich 80% der Tageslastgänge befinden. Violett und hellrot kennzeichnen den 90% sowie 98% Bereich.

4.1 Standard-Lastgangprofile für Sommer- und Winter-Tage

Die obere Hüllkurve stellt somit typischerweise einen Winter-Tages-Lastgang dar. Die untere Hüllkurve einen Sommer-Tages-Lastgang. In den Nachtstunden ist im dargestellten Beispiel (Abbildung 7) ein Minimalbezug von 2 MW zu erkennen. Im Tagesverlauf sind auch negative Werte (Rückspeisung) zu beobachten. Dies zeigt einen typischen Verlauf eines Abgangs mit hoher Photovoltaik-Durchdringung. Weiters ist um 22:00 auch hier der Effekt der Rundsteuerung zu beobachten.

4.2 Bestimmung der Blindleistungsbilanz

Abbildung 8 zeigt in analoger Methodik den Standard-Tageslastgang der Blindleistung an einer Übergabestelle. Zielsetzung ist eine möglichst ausgeglichene Blindleistungsbilanz an den Übergabestellen zum Übertragungsnetz einzuhalten [2]. Abbildung 8 zeigt anhand der unteren Hüllkurve die maximale Blindleistungslieferung des Verteilernetzes, welches typischerweise in Schwachlastphasen auftritt [2]. Es ist zu erkennen, dass die Konfidenzintervalle in den Nachtstunden (zB 03:00) deutlich näher beieinanderliegen als in der Mittagszeit (zB 12:00).

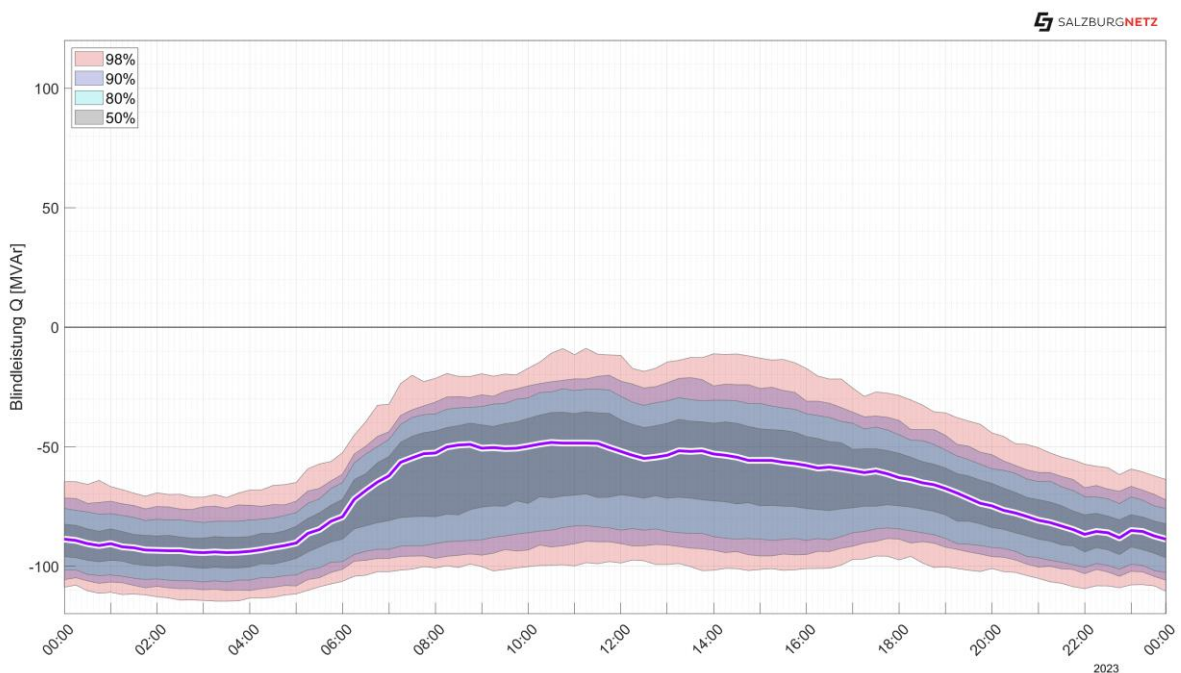


Abbildung 8: Standard-Tageslastgangprofil der Blindleistung an einer Übergabestelle

Weiters ist ein ausgeprägter Tag-Nacht-Unterschied zu erkennen. In der Mittagszeit tendiert der typische Tageslastgang stärker gegen Null als in den Nachtstunden. Dies kann ebenfalls durch die höhere Netzauslastung begründet werden [2]. Allgemein ist eine dauerhafte Blindleistungserzeugung zu erkennen. Im 98%-Intervall tritt kein einziger Blindleistungsbezug auf. Dies kann an den dauerhaft negativen Blindleistungswerten abgelesen werden.

Anhand des Tageslastgangs können für die Zielsetzung „ausgeglichene Blindleistungsbilanz“ mögliche Maßnahmen abgeleitet werden. Im konkreten Beispiel tritt ein Tag-Nach-Unterschied

von ca. 50 MVar auf. Dies kann zB durch regelbare (bzw. zumindest schaltbare) Blindleistungskompensationsspulen ausgeglichen werden. Diese würde jeweils in den Nachtstunden zum Einsatz kommen, sodass eine tageszeitlich konstante Kurve erzielt wird. In einem zweiten Schritt muss die Kurvenschar noch um etwa 50 MVar nach „oben verschoben“ werden, um eine Blindleistungsbilanz von Null zu erzielen. Hierfür können zB kostengünstigere nicht regelbare Blindleistungskompensationsspulen zum Einsatz kommen. [2]

Diese Kurve stellt weiters eine Hilfestellung für die Vorgabe des Blindleistungsverhaltens von Erzeugungsanlagen dar. Laufwasserkraftwerke, welche relativ unabhängig von der Tageszeit einspeisen, unterstützen die Blindleistungsbilanzierung mit einem dauerhaften Blindleistungsbezug. Wechselrichter von Photovoltaikanlagen sind typischerweise in den Nachtstunden nicht aktiv und können hier keinen Beitrag leisten. Wenn hier (zB für die lokale Spannungshaltung) in der Mittagszeit ein Blindleistungsbezug bei Photovoltaikanlagen auftritt, so bewirkt dies zwar hier eine Anhebung der Kurve. Gleichzeitig wird aber auch der Tag-Nacht-Unterschied der Kennlinie vergrößert. Diese Effekte gilt es bei der Wahl der Blindleistungsvorgabe abzuwiegen.

5 Scatter Plot

Im Scatter Plot sind alle 35040 Viertelstundenwerte eines Jahres als Punkt im X-Y-Diagramm dargestellt. Jeder Punkt zeigt somit, wie hoch in dieser Viertelstunde die Blindleistung bei zugehöriger Wirkleistung ist. Sofern verfügbar werden die Punkte nach dem Spannungswert eingefärbt, welcher zu diesem Zeitpunkt vorgelegen hat. In diesem Diagramm ist keine Zeitinformation enthalten, wann die entsprechende Wertekombination aufgetreten ist. Im Diagramm sind als Orientierung Kurven für unterschiedliche $\cos(\varphi)$ Werte dargestellt. Weiters zeigt der ‚rote Rahmen‘ die Grenze laut „TOR Netz Und Lasten mit Übertragungsnetzanschluss“, welche der Verteilernetzbetreiber an der Übergabestelle einzuhalten hat.

5.1 Blindleistungseinstellung von Erzeugungsanlagen

Abbildung 9 zeigt den Scatter Plot des Kraftwerks „R“. Da es sich um eine Erzeugungsanlage handelt, treten ausschließlich negative Wirkleistungswerte auf (siehe X-Achse). Der Großteil der P-Q Wertepaare liegt auf einer Geraden, welche sich leicht unterhalb der strichlierten $\cos(\varphi) = 0,99$ Referenzlinie befindet. Es ist kein grafisch erkennbarer Zusammenhang zu der Farbe der Punkte zu erkennen, welche den zugehörigen Spannungswert in diesem Zeitpunkt beschreibt.

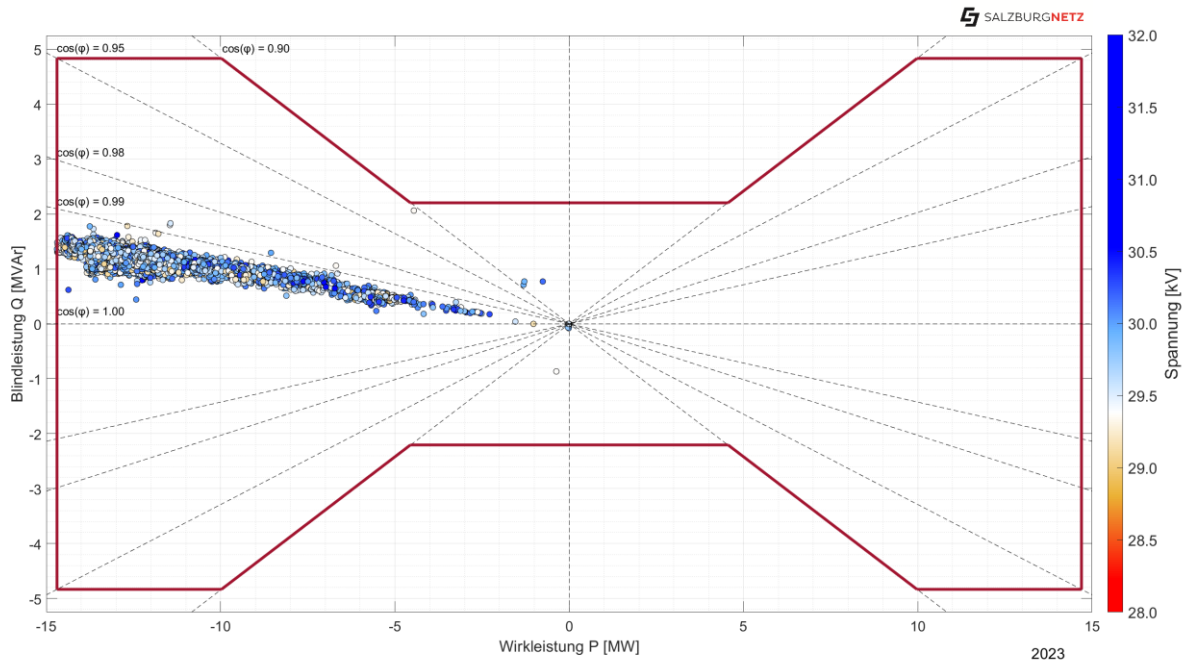


Abbildung 9: Scatter-Plot der Wirk- und Blindleistung (Farbe entsprechend Spannung) des Kraftwerks "R"

Die fehlende Abhängigkeit zum Momentanwert der Spannung, steht im Einklang mit einer Blindleistungseinstellung von $\cos(\varphi) = 0,995_{ind}$ im Kraftwerk. Also mit steigender Wirkleistungseinspeisung steigt auch der Blindleistungsbezug linear an. Das Kraftwerk verhält sich aufgrund des untererregten Betriebs, wie eine Induktivität und wirkt spannungssenkend.

Abbildung 10 zeigt den Scatter Plot des Kraftwerks „H“. Auch hier sind ausschließlich negative Wirkleistungswerte zu erkennen, welche eine Einspeisung im Verbraucherzählpeilsystem kennzeichnen.

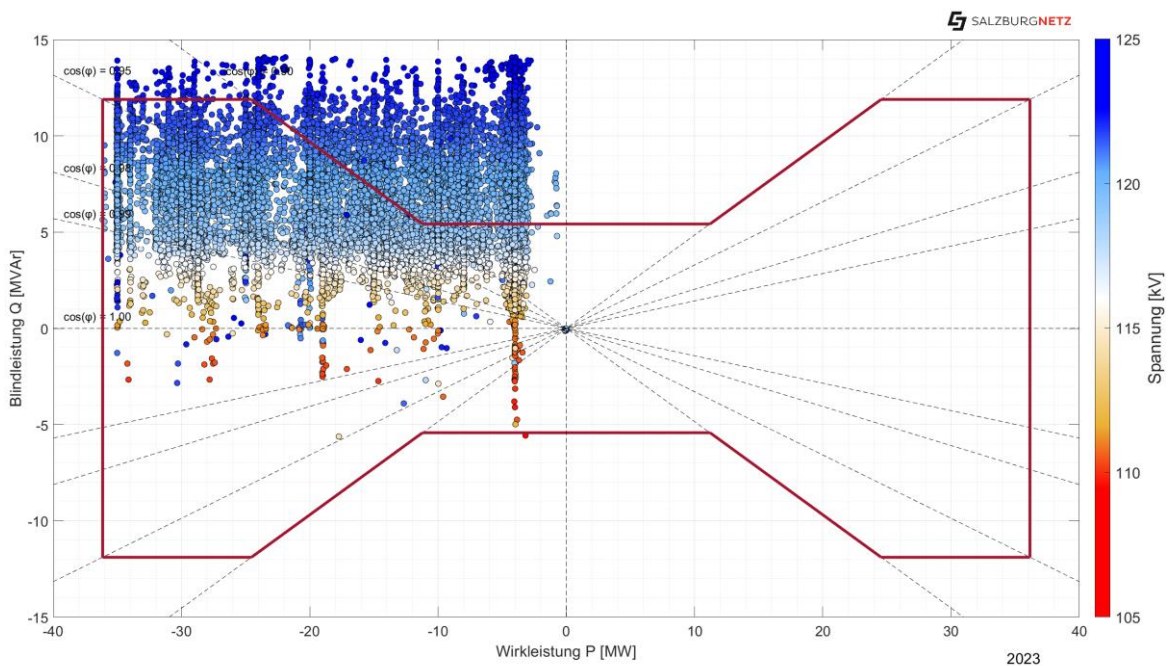


Abbildung 10: Scatter-Plot der Wirk- und Blindleistung (Farbe entsprechend Spannung) des Kraftwerks "H"

Im Gegensatz zu Abbildung 9 (Kraftwerk „R“) ist hier beim Kraftwerk „H“ kein fixer Zusammenhang zwischen Wirk- und Blindleistung zu erkennen. Jedoch zeigt das Diagramm, dass die Farbe der Punkte mit der Höhe der Blindleistung übereinstimmt. Umso höher die Spannung, umso höher ist auch der Blindleistungsbezug des Kraftwerks.

Dieses Verhalten passt zu einer Q(U)-Regelung einer Erzeugungsanlagen. Der Blindleistungssollwert ergibt sich ausschließlich aus dem lokalen Spannungswert. Bei hohen Spannungswerten (vgl. blaue Punkte in Abbildung 10) wird ein Blindleistungsbezug (untererregt) eingesetzt, um die Spannung zu senken. Im Gegensatz dazu wird bei geringen Spannungen (vgl. rote Punkte) durch das Kraftwerk zusätzlich zur Wirkleistung auch Blindleistung eingespeist (übererregt), um die Spannung anzuheben.

5.2 Spannungsregelung im Umspannwerk (Kompoundierung)

In Umspannwerken (Hoch- auf Mittelspannung) ist meist eine Spannungsregelung aktiviert. Unabhängig vom Spannungswert auf der Hochspannungsseite kann auf einen gewünschten Spannungswert auf der Mittelspannungsebene ausgeregelt werden. Im einfachsten Fall ist dies ein fester Spannungswert. Im Versorgungsgebiet der Salzburg Netz GmbH wird immer häufiger auf eine Wirk-Stromcompoundierung umgestellt. In Abhängigkeit des Wirkstroms über den Umspanner ändert sich der Spannungswert an der Sammelschiene. Im Hochlastfall (positive Wirkleistung) wird die Spannung angehoben. Im Falle einer Rückspeisung (negative Wirkleistung) wird die Spannung abgesenkt.

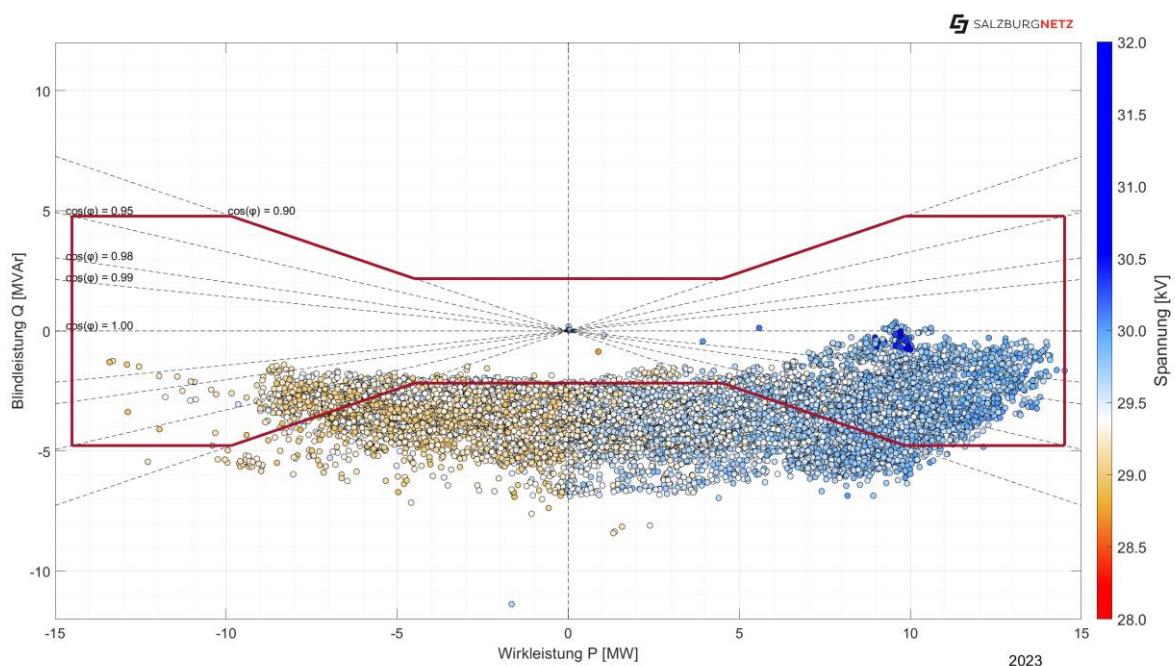


Abbildung 11: Scatter-Plot der Wirk- und Blindleistung (Farbe ~ Spannung) der Sammelschiene im UW "L"

Abbildung 11 zeigt den Scatter-Plot der Wirk- und Blindleistungswerte des Umspanners im Umspannwerk „L“. Die Farbe zeigt die Spannung an der 30-kV-Sammelschiene. Im Gegensatz zu den Erzeugungsanlagen (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10) treten im Umspannwerk sowohl positive Wirkleistungswerte (Bezugsrichtung) als auch negative Wirkleistungswerte (Rückspeisung) auf.

Entsprechend der Farben in Abbildung 11 ist ersichtlich, dass die Spannung direkt mit der Wirkleistung zusammenhängt, da eine Wirkstromkompoundierung aktiviert ist. Bei hohen Bezugsleistungen wird ein hoher Spannungswert vorgegeben (blaue Punkte). Bei Rückspeisesituationen wird die Spannung abgesenkt (gelbe Punkte).

Da die Spannungsregelung über die Stufung des Umspanners erfolgt, haben alle angeschlossenen Umspannerabgänge die gleiche Ausgangsspannung. Verhält sich ein einzelner Umspannerabgang gegengleich, so kann es sein, dass für diesen Abgang die Ausgangsspannung nicht ideal ist. Dies tritt zB in den Wintermonaten bei allgemeiner Hochlast auf. Aufgrund der hohen (Summen-)Wirklast stellt sich im Umspannerwerk eine hohe Ausgangsspannung ein. Wenn nun an einem UW-Abgang vor allem Erzeugungsanlagen installiert sind, so ergibt sich hier eine ungewünscht hohe Spannung.

Abbildung 12 zeigt nun den Scatter-Plot des Abgangs „G“ im zuvor (siehe Abbildung 11) gezeigten Umspannerwerk „L“. Die Wirk- und Blindleistung beschreibt nun den einzelnen Abgang und nicht mehr die Summe der Abgänge am Umspanner.

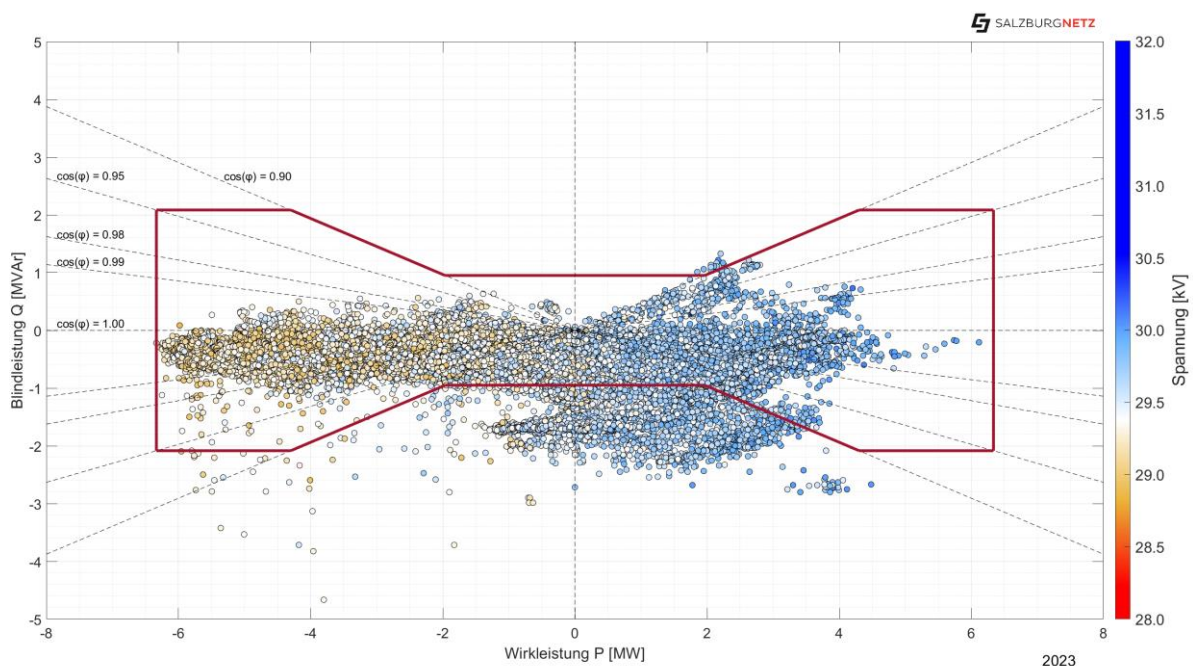


Abbildung 12: Scatter-Plot der Wirk- und Blindleistung (Farbe ~ Spannung) des Abgangs „G“ im UW „L“

In Abbildung 12 ist die gleiche Grundstruktur wie in Abbildung 11 zu erkennen: bei hohem Wirkleistungsbezug (positive Werte der X-Achse) liegt im Umspannerwerk eine verhältnismäßig hohe Spannung vor (blaue Punkte). In Einspeiserichtung hingegen eine verhältnismäßig niedrige Spannung (gelbe Punkte).

Abbildung 12 zeigt, dass die Farbabgrenzung nicht mehr so exakt erfolgt wie in Abbildung 11, in der die Spannung entsprechend Wirkleistungs-Vorgabe geregelt wird. Dennoch ist auch in Abbildung 12 der gewünschte Spannungsregelungseffekt zu beobachten. Die „globale“ Regelung im Umspannerwerk passt somit auch für diesen einzelnen Umspannerabgang verhältnismäßig gut.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vier gezeigten Darstellungsvarianten „Jahreslastprofil“, „Heatmap“, „Standard Tageslastprofil“ und „Scatter-Plot“ haben sich innerhalb der Salzburg Netz GmbH als praktisches und effektives Werkzeug herausgestellt. Für die unterschiedlichen skizzierten Anwendungsfälle erlauben es die Darstellungen eine verhältnismäßig schnelle und effiziente Analyse vorzunehmen. Die Erstellung der Diagramme erfolgt automatisiert und ist mit geringem manuellem Aufwand verbunden. Somit wird diese Methode innerhalb der Salzburg Netz GmbH auf mehr als 1000 Datenpunkte angewendet und die entsprechenden Diagramme liegen als Bilddateien vor.

Eine Erweiterung der vorgestellten Methode zur Ermittlung von relevanten Effekten besteht in der computerunterstützten Auswertung. Einerseits kann dies über statistische Auswertung der Originalzeitreihen erfolgen. Andererseits könnten Bildanalysetools exakt die gezeigten Grafiken verarbeiten. Ähnlich wie bei der manuellen Beurteilung ist auch eine automatisierte Bildauswertung vorstellbar, um die gezeigten Auswertungen zu erstellen und hieraus zB automatisch die Kategorisierung der Blindleistungseinstellungen vorzunehmen.

Literatur

- [1] Groß, et al., 2017, „Loss estimation of medium-voltage lines based on real and synthetic load profiles“, CIRED 2017, Glasgow, Paper #0209
- [2] Groß, et al., 2018: „Blindleistungsbilanz im Salzburger Verteilnetz“, EnInnov 2018, Graz
- [3] E-Control, „TOR Netze und Lasten mit Übertragungsnetzanschluss“, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/marktregeln/tor>, abgerufen am 28.01.2024