

Kombination von Ansätzen aus der Betriebsmitteldiagnostik und dem maschinellen Lernen zur Auswertung der Spannungsqualität

Juan Velásquez, Hubert Göbel GmbH,
Simon Wenig, TransnetBW GmbH
Christoph Butterer, TransnetBW GmbH
Jörg Reisbeck, TransnetBW GmbH

Abstract

Die Überwachung der Netzqualität ist ein Thema, dem in der heutigen Zeit zunehmende Aufmerksamkeit entgegengebracht wird. Diese richtet sich auf drei Aspekte: primärtechnische (Wandler und Sensorik), sekundärtechnische (Netzqualitätsmessgeräte, Server-Client Infrastruktur) und datenauswertungsspezifische Themen. Dieser Beitrag beschreibt die gegebenen Zusammenhänge im Hinblick auf die Aussagekraft einer Überwachung der Netzqualität.

Schlüsselwörter

Netzqualität, Primärtechnik, Sekundärtechnik, Datenauswertung.

1 Einleitung

Das Thema Netzqualität ist organisatorisch betrachtet in der Regel der Sekundärtechnik zugeordnet. Durch die Mitarbeiter der Fachabteilung, die für die Sekundärtechnik eines Netzbetreibers zuständig sind, werden häufig die Netzqualitätsmessgeräte ausgewählt, parametrisiert und getestet. Darüber hinaus kümmert sich die Sekundärtechnik um die für eine netzübergreifende Überwachung der Netzqualität erforderliche Server-Client Infrastruktur. Es gibt unzählige Beispiele von Netzqualitätsüberwachungssystemen, die erfolgreich in Betrieb genommen worden sind. Durch die Überwachungssysteme werden die Betreiber darüber informiert (z.B. via Mail), wenn ein bestimmtes Ereignis eintritt. Ein typisches Beispiel eines Ereignisses ist hierbei die Grenzwertverletzung einer spezifischen Oberschwingung. Diese Art von Überwachung ist auf jeden Fall sinnvoll. Nichts desto trotz kann es vorkommen, dass aufgrund fehlender Verifikation des Übertragungsverhaltens der Wandler, bzw. der Sensoren, die für das Treffen von Entscheidungen notwendige Zuverlässigkeit des Überwachungssystems nicht nachgewiesen werden kann. Die Problematik über das Übertragungsverhalten von Wandlern für Netzqualitätsanwendungen ist in [1] weiterführend erläutert.

Anhand von primärtechnischer Messtechnik besteht die Möglichkeit, das Übertragungsverhalten sowohl von Stromwandlern als auch von Spannungswandlern zu bestimmen. Das Kapitel 2 dieses Beitrages zeigt einige Ideen dafür.

Ein weiterer Aspekt der Überwachung der Netzqualität hat mit der Auswertung der gespeicherten Daten zu tun. Die Überwachungssysteme sind i.d.R. so ausgelegt, dass die aufgezeichneten Daten gespeichert werden. Was letztendlich mit den Daten passieren soll, ist eine Frage die sehr häufig von den zuständigen Mitarbeitern gestellt wird. Sowohl bei der Primärtechnik, als auch bei der Sekundärtechnik, gibt es Anwendungen, bei denen eine hohe Menge von Daten vorgehalten werden.

Im Bereich der Primärtechnik werden vor allen bei der Online Überwachung des Zustandes von Betriebsmitteln, wo eine hohe Menge von Messdaten anfällt, verschiedene Ansätze zur Datenauswertung verwendet. Zum Beispiel werden bei der Online Überwachung eines Transformators Algorithmen verwendet, die anhand von Umgebungstemperatur- und Strommessungen in der Lage sind, die Öltemperatur des Transformators vorherzusagen. Diese Vorhersage wird wiederum für eine frühzeitige Erkennung von Anomalitäten verwendet.

Im Zusammenhang mit der Sekundärtechnik werden ebenfalls verschiedene Größen gemessen und überwacht. Ein Beispiel dafür ist die Überwachung der Netzqualität eines Netzes. Im Rahmen einer Überwachung der Netzqualität wird eine sehr hohe Anzahl von Daten gesammelt, die allerdings in seltenen Fällen weiter ausgewertet werden. Bei den meisten Überwachungssystemen wird hauptsächlich geprüft, ob die gemessenen Oberschwingungen voreingestellte Schwellenwerte (bzw. Grenzwerte) überschreiten. Es werden jedoch keine Verhaltensmuster oder dynamische Veränderungen der Netzqualitätssituation bewertet.

Bei der Auswertung der Daten werden häufig Indikatoren berechnet (z.B. Maximalwerte, Mittelwerte, etc.), die die Situation des Prozesses darstellen. Es werden grafische Darstellungen von Tendenzen durchgeführt und in der Regel Warnungen generiert, wenn eine überwachte Größe einen vom Benutzer eingestellten Wert überschreitet (z.B. die Öltemperatur eines Transformators hat die maximal zulässige Temperatur überschritten.). Zusätzlich zu diesen grundsätzlichen Auswertungen von Daten kann anhand von „Maschinellem Lernen“ (ML) die Aussagekraft bzw. der Mehrwert eines Überwachungssystems erhöht werden.

Maschinelles Lernen bezweckt die Generierung von Wissen aus historischen Daten, indem lernende Algorithmen aus einem Training-Datensatz ein komplexes Modell ableiten. Das Modell kann anschließend auf neue, potenziell unbekannte Daten derselben Art angewendet werden [2].

Die Ergebnisse einer Voruntersuchung über die Auswertung von Daten von Oberschwingungsmessungen durch Methoden des maschinellen Lernens haben gezeigt, dass sich das Verhalten von Oberschwingungen gut vorhersagen lassen kann [3]. Weitere Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes mit einem deutschen Übertragungsnetzbetreiber wurden durchgeführt. Das Kapitel 3 dieses Beitrages zeigt beispielhaft eine der durchgeführten Auswertungen.

2 Ansätzen aus der Betriebsmittel-diagnostik zur Auswertung der Spannungsqualität

2.1 Bestimmung des Übertragungsverhaltens von Wandlern

Das Übertragungsverhalten eines Wandlers beschreibt, wie sich das Übersetzungsverhältnis in Abhängigkeit der Frequenz verhält. Die Nennübersetzung eines Wandlers ist nur für die Nennfrequenz (50 Hz oder 60 Hz) im Typenschild angegeben. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine bestehende IEC-Norm, in der die Bestimmung des Übertragungsverhaltens eines Wandlers im Rahmen der Werkprüfungen gefordert ist. Fakt ist, dass in den meisten Fällen die Netzbetreiber nicht oder nur äußerst selten über Messungen des Übertragungsverhaltens der Wandler verfügen. Aus diesem Grund wird für die Beurteilung der Aussagekraft einer Netzqualitätsmessung eine Bestimmung des Übertragungsverhaltens der Wandler empfohlen. Für die Bestimmung des Übertragungsverhaltens werden hier drei verschiedene messtechnische Lösungen beschrieben (siehe Abschnitte 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3).

2.1.1 Übertragungsfunktionsbasierte Bestimmung des Übertragungsverhalten

Die Messung der Übertragungsfunktion ist ein bekanntes Messverfahren zur Diagnose des Aktivteils von Leistungstransformatoren. Das Verfahren wird häufig als Frequenzganganalyse bzw. Frequenzgangmessung bezeichnet. Dieses Verfahren ermöglicht eine Messung der Übertragungsfunktion zwischen der primärseitigen und der sekundärseitigen Wicklung eines Wandlers, wie in Bild 1 dargestellt. Aus der gemessenen Übertragungsfunktion lässt sich anschließend das Übersetzungsverhältnis (\ddot{u}) umrechnen. Für die Umrechnung wird die Formel (1) verwendet, wobei „m“ dem Betrag der Übertragungsfunktion entspricht.

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{10^{20}} \quad (1)$$

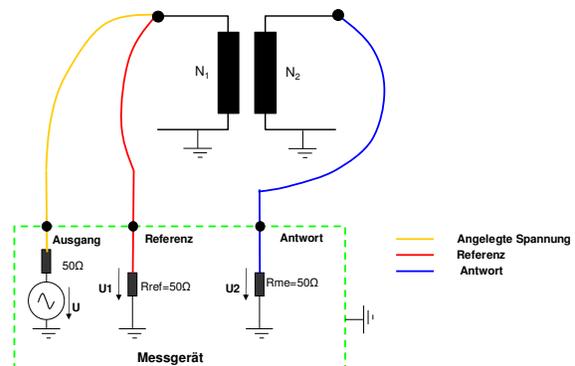


Bild 1 Messaufbau für die Bestimmung des Übertragungsverhaltens eines Transformators

Bild 2 beinhaltet das aus der Messung zurückgerechnete Übersetzungsverhältnis für den Frequenzbereich von 20 Hz bis 150 kHz. Die Darstellung zeigt, dass bis ca. 2 kHz die Amplitude des Übertragungsverhaltens des Wandlers ein lineares Verhalten aufweist. Bei 2 kHz weicht die Amplitude um 3,1 % von der Amplitude bei der Nennfrequenz (50 Hz) ab. Über 2 kHz treten Resonanzen auf, die für eine sehr ungenaue und wenig aussagekräftige Beurteilung der Netzqualität führen würden. Der Verlauf des Phasenwinkels weist größerer Abweichungen auf.

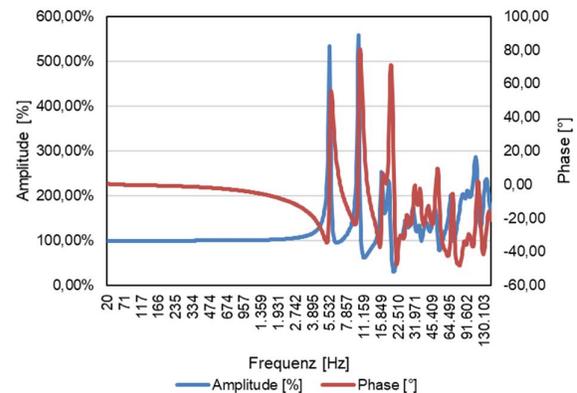


Bild 2 Übertragungsverhalten eines 25 kV Spannungswandlers

Der Hauptvorteil dieses Verfahren liegt in der Tatsache, dass das Übertragungsverhalten mit einfachen Mitteln in einem breiten Frequenzbereich bestimmt werden kann. Es ist allerdings darauf zu achten, dass diese Messung in der Regel mit Spannungen kleiner 10 V durchgeführt wird. Da die Magnetisierungsinduktivität eines Wandlers spannungsabhängig ist, sollte zudem verifiziert werden, ob die Ergebnisse der Messung bei niedrigen Spannungen auch die Situation bei Nennspannungen darstellen. Ein erster

Schritt in dieser Verifikation ist das umgerechnete Übersetzungsverhältnis bei Nennfrequenz mit der Nennübersetzung des Wandlers zu vergleichen. Konkret zu dem Beispiel des 25 kV Wandlers, dessen Übertragungsverhalten in Bild 2 dargestellt ist, wurde bei 50 Hz eine Übersetzung von 254,6 berechnet. Die Nennübersetzung des Wandlers gemäß Typenschild beträgt 250. Das heißt, die umgerechnete Übersetzung trifft die Nennübersetzung relativ gut. Weitere Möglichkeiten zur Verifikation basieren auf Übersetzungsverhältnismessungen mit höheren Spannungen wie in Abschnitt 2.1.2 und 2.1.3 beschrieben.

2.1.2 Direkte Messung des frequenzabhängigen Übersetzungsverhältnisses

Sekundärtechnische Prüfgeräte, wie z.B. der CMC-256 plus, können für eine direkte Messung des frequenzabhängigen Übersetzungsverhältnisses verwendet werden. Das CMC-256 plus kann sowohl als Signalgenerator für das Anlegen der primärseitigen Spannung als auch als Messgerät dienen. Eine weitere Möglichkeit wäre, das Netzqualitätsmessgerät (PQ-Messgerät) für die Messung der primär- und sekundärseitigen Spannungen zu verwenden. Bild 3 zeigt den Messaufbau für diese Messung. Dieser Aufbau hat den Vorteil, dass das Übersetzungsverhältnis direkt aus den gemessenen Spannungen bestimmt werden kann. Einphasige Messungen mit Spannungen bis zu 600 V können durchgeführt werden. Allerdings ist der Frequenzbereich, der gemessen werden kann, auf 3 kHz limitiert.

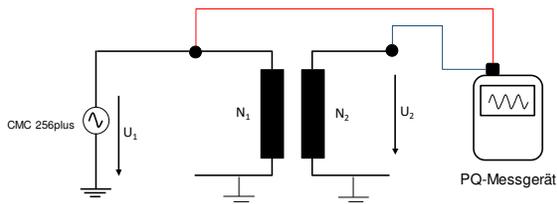


Bild 3 Messaufbau für die direkte Messung des frequenzabhängigen Übersetzungsverhältnisses bis 3 kHz

Da bei manchen Anwendungen (z.B. Messung von Oberschwingungen gemäß IEC 61000-4-7) Messungen bis 9 kHz erforderlich sind, ist es für die Netzbetreiber von Interesse in Erfahrung zu bringen, wie das Übertragungsverhalten bis 9 kHz aussieht. Eine Möglichkeit das Übertragungsverhalten bis Frequenzen höher als 3 kHz untersuchen zu können, wäre das CMC 256 plus mit einem Frequenzganganalyse-Messgerät in Reihe zu schalten, wie in Bild 4 dargestellt. Durch das CMC-256-plus wird die Grundschwingung erzeugt, während die Oberschwingungen durch das FRANEQ 800 erzeugt werden. Auf dieser Weise ist eine Messung des Übertragungsverhaltens bis Frequenzen höher als 3 kHz möglich. Die einzig mögliche Einschränkung, die bei diesem Verfahren noch offen bleibt, ist, dass die Messung nicht bei Nennspannung des Wandlers durchgeführt wird.

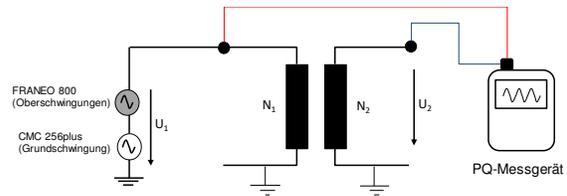


Bild 4 Messaufbau für die direkte Messung des frequenzabhängigen Übersetzungsverhältnisses mit Niederspannung bis Frequenzen höher als 3 kHz

2.1.3 Direkte Messung des frequenzabhängigen Übersetzungsverhältnisses mit Hochspannung

Eine Überlegung, um das frequenzabhängige Übersetzungsverhältnis eines Wandlers bei Nennspannung messen zu können, wäre der Einsatz eines Prüftransformators, über den die primärseitige Spannung bis zur Nennspannung erhöht werden könnte. Ein möglicher Messaufbau kann Bild 5 entnehmen werden. Der Aufbau ist vor allem für eine vor Ort Messung zu aufwendig. Nicht nur ein Prüftransformator ist erforderlich, sondern auch ein Spannungsteiler zur Messung der primärseitigen Spannung. Aufgrund dieser Komplexität ist dieses Verfahren für vor Ort Messungen nicht geeignet.

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es in der Literatur keine Erfahrungen, die über die Notwendigkeit der Messung des Übertragungsverhalten bei Nennspannung berichten. Rein theoretisch sollte es für eine Aussage über die Linearität des Übertragungsverhaltens eines Wandlers ausreichend sein, Messungen bei Arbeitspunkten in der U-I Kennlinie durchzuführen, die sich im linearen Arbeitsbereich des Wandlers befinden.

Eine Empfehlung für Netzbetreiber wäre es, in der technischen Spezifikation für die Beschaffung von Wandlern eine Messung des Übertragungsverhaltens des Wandlers bei Nennspannung als Werkprüfung zu spezifizieren. Zur Erkenntnisgewinnung sollte anschließend diese Messung mit einer Messung bei niedrigen Spannungen (kleiner 600 V) verglichen werden.

Je nach Übertragungsverhalten des Prüftransformators kann den Frequenzbereich bis einige kHz gemessen werden.

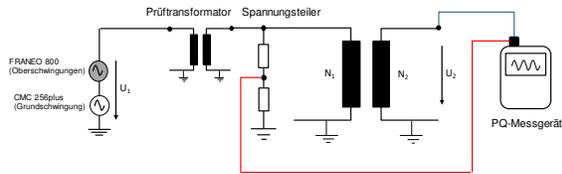


Bild 5 Messaufbau für die direkte Messung des frequenzabhängigen Übersetzungsverhältnisses mit Hochspannung

2.2 Alternative Sensorik für eine Messung von Oberschwingungen mit ausreichender Bandbreite

2.2.1 Beschreibung eines alternativen Messsystems

Unabhängig davon wie gut oder wie schlecht das Übertragungsverhalten eines Wandler gemessen worden ist, wird es sich nicht vermeiden lassen, dass induktive Wandler konstruktiv bedingte Resonanzfrequenzen aufweisen, die zur Verfälschung der Messung von Oberschwingungen und transienten Vorgängen führen [1].

Was die Spannungsmessung angeht, ist die Verwendung von ohmsch-kapazitiven Spannungsteiler (RC-Teiler) eine sehr gute Lösung, die sowohl eine gute Genauigkeit als auch eine ausreichende Bandbreite bietet.

Angesichts der Tatsache, dass nicht immer die Möglichkeit besteht (z.B. aus Kosten-, Platz- oder Lieferzeitgründen) einen RC-Teiler zu verwenden, sind weitere Alternativen von großem Interesse. Der Bereich der Primärtechnik bietet eine interessante und kosteneffektive Alternative an, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

Primärtechnische Betriebsmittel ab Nennspannung von 110 kV, insbesondere Leistungstransformatoren, sind mit gesteuerten Durchführungen ausgestattet. Diese Art von Durchführungen verfügen über einen Messanschluss, über den der vorletzte Steuerbelag abgegriffen werden kann. Schaltet man eine externe Kapazität (Vierpol) in Reihe mit der Kapazität C1 einer Durchführung, bildet sich ein kapazitiver Spannungsteiler, über den eine breitbandige Spannungsmessung erfolgen kann. Im Bild 6 ist dieses System schematisch dargestellt. Für weitere Details siehe Referenzen [3] und [4].

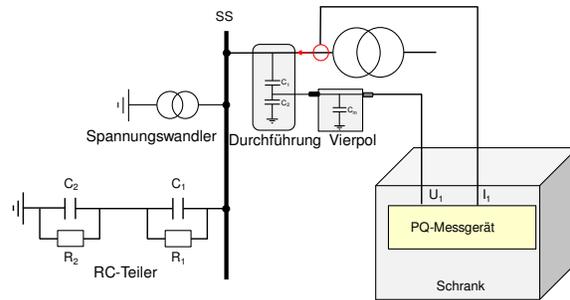


Bild 6 Alternatives Messsystem für eine breitbandige Messung von Oberschwingungen und transiente Vorgängen

Da sowohl die Kapazität von gesteuerten Durchführungen als auch die Kapazität von kommerziell verfügbaren Vierpolen sehr wenig frequenzabhängig sind, verfügt eine solche Messung über eine ausreichende Bandbreite. In diesem Sinne könnte eine Messung von Oberschwingungen über eine Durchführung als Referenz herangezogen werden, um die Messung von Oberschwingungen über induktive Wandler (zumindest verbessert) zu beurteilen (siehe Abschnitt 2.2.2).

Bild 7 zeigt als Beispiel die Frequenzabhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses eines Teilers. Zur Bestimmung der Frequenzabhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses wurde sowohl die Kapazität der Durchführung als auch die Kapazität des Vierpols in Abhängigkeit der Frequenz gemessen. Anschließend wurde durch analytische Modellierung des Teilers das Übersetzungsverhältnis berechnet. Obwohl eine analytische Modellierung des Teilers eine gute Indikation über die Frequenzabhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses liefern soll, wird empfohlen, auf eine vor Ort Verifikation der Genauigkeit der Messung mit angeschlossenem PQ-Messgerät nicht zu verzichten.

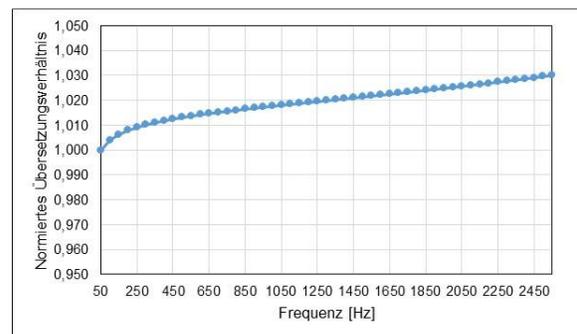


Bild 7 Theoretisches Übersetzungsverhältnis des Teilers normiert auf das Übersetzungsverhältnis bei 50 Hz

2.2.2 Verifikation des Übertragungsverhaltens von induktiven Wandlern durch den Vergleich mit einer Spannungsmessung über Durchführungen

Im Rahmen der Verifikation werden gleichzeitig Oberschwingungen über den induktiven Spannungswandler und über die Durchführung gemessen. Das gleiche PQ-Messgerät wurde verwendet, um mögliche Abweichungen aufgrund unterschiedlicher Berechnungen auszuschließen. Die Messung über die Durchführung wurde als Referenzmesssystem angenommen.

Bild 8 und Bild 9 zeigen den Vergleich des Frequenzspektrums der Oberschwingungen bis zur 50. Ordnung der Spannung der Messung 1 (Wandler) gegenüber der Messung 2 (Durchführung). In Bild 8 werden die Messergebnisse beider Systeme bis zur 25. Oberschwingung miteinander verglichen, während in Bild 9 die Ergebnisse von der 26. Oberschwingung bis hin zur 50. Oberschwingung dargestellt sind. Obwohl die harmonischen Spektren musterbedingt ähnlich sind, weisen diese bei bestimmten Frequenzen unterschiedliche Amplituden auf. Um diese Amplitude-Differenzen besser beurteilen zu können, wurde die prozentuale Abweichung der Messung über den Spannungswandler, bezogen auf die Durchführungsmessung, berechnet. Die Ergebnisse können Bild 10 entnommen werden.

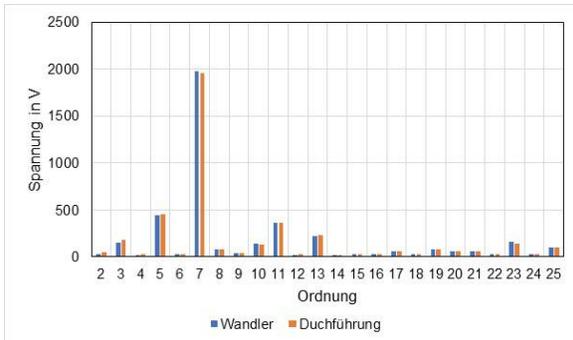


Bild 8 Vergleich des Frequenzspektrums der Oberschwingungen von 2. Ordnung bis 25. Ordnung der Spannung

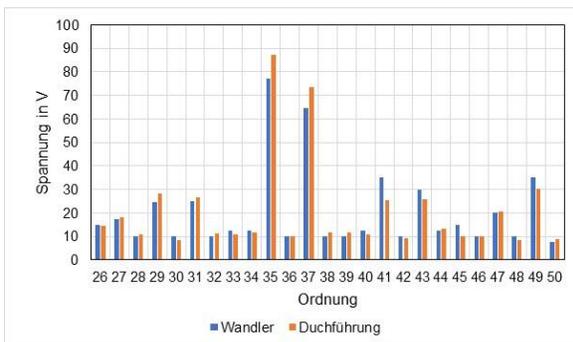


Bild 9 Vergleich des Frequenzspektrums der Oberschwingungen von 26. Ordnung bis 50. Ordnung der Spannung



Bild 10 Abweichung der Messung über den Spannungswandler bezogen auf die Messung über die Durchführung

3 Datenauswertung

In diesem Abschnitt wird die intelligente Datenauswertung mittels des Ansatzes maschinelles Lernen illustriert. Daten der Spannungs Oberschwingungen aus dem Messsystem, das in der Referenz [3] beschrieben ist, wurden hierzu verwendet. Für Illustrationszwecke wurde nur den Zeitraum von 06.06.2018 bis zum 17.09.2018 bewertet.

Nach manueller Auswertung der Daten wurde festgestellt, dass die Oberschwingungen erwartungsgemäß stark in Zusammenhang mit der Uhrzeit des Tages, mit dem Tag der Woche (Werktag, Wochenende oder Feiertag) und mit der Grundschwingung des Stroms (als Indikator der Auslastung des Netzes) steht. Bild 11 vergleicht den Zeitverlauf der Grundschwingung des Stroms mit dem Oberschwingungsgehalt der 5. Oberschwingung.

In Bild 12 wird den Zeitverlauf der 5. Oberschwingung mit dem Zeitverlauf des Tages der Woche (Wochentag) verglichen. Die Wochentage wurden von 1 bis 7 durchnummeriert. 1 steht für den Montag während 7 für den Sonntag steht. Es kann beobachtet werden, dass häufig am Wochenende (Wochentag 6 und 7) der Oberschwingungsgehalt am höchsten ist.

Bild 12 zeigt den Zusammenhang zwischen der Uhrzeit (Zeitpunkt) und dem Gehalt der 5. Oberschwingung. Das Messsystem zeichnet die 10-Minütigen Oberschwingungswerte auf. Das heißt, im Laufe eines Tages werden insgesamt 144 Messpunkte gemessen. Der Zeitpunkt 1 steht für die Uhrzeit 0:00 während der Zeitpunkt 144 für die Uhrzeit 23:50 steht. Eine interessante Beobachtung ist, dass um ca. 00:00 der Oberschwingungsgehalt am niedrigsten ist.

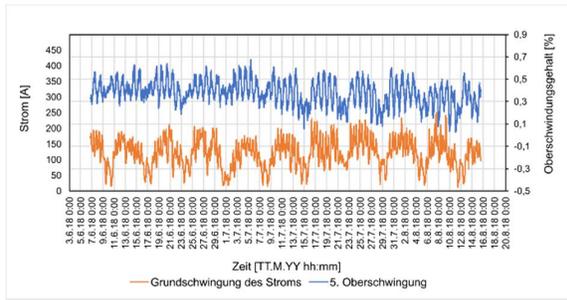


Bild 11 Zeitverlauf der Grundschiwingung des Stroms und Zeitverlauf des Gehalts der 7. Oberschwingung

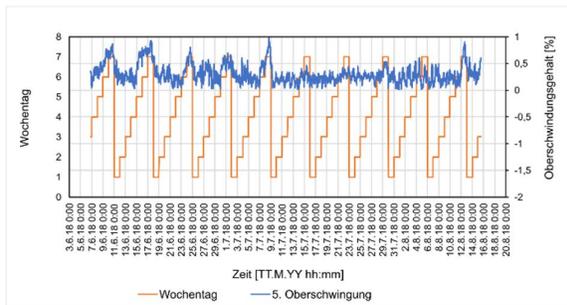


Bild 12 Zeitverlauf der 5. Oberschwingung und Zeitverlauf der Wochentag

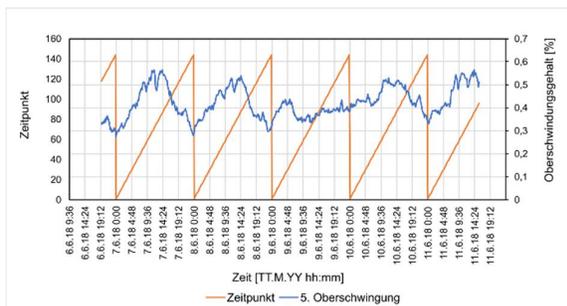


Bild 13 Zeitverlauf der 5. Oberschwingung

Um diese oben beschriebenen Beobachtungen im Form eines Algorithmus für die Überwachung von Oberschwingungen darstellen zu können, wurde ein selbstlernender Algorithmus entworfen. Die Vorgehensweise zum Entwurf des Algorithmus ist in [5] beschrieben. Der Algorithmus hat die Aufgabe, das Verhalten von Oberschwingungen im Form von Verhaltensbereichen zu beschreiben. Das Verhalten von der 5. Oberschwingung wurden in den in der Tabelle 1 dargestellten Intervallen diskretisiert. Die Topologie des Modells ist in Bild 14 dargestellt.

Tabelle 1: Festgelegte Verhaltensbereiche für die 5. Oberschwingung

Bezeichnung	Intervall
A	<0,012
B	[0,012 , 0,158]
C	[0,158 , 0,303]
D	[0,303 , 0,449]
E	[0,449 , 0,595]
F	[0,595 , 0,740]
G	≥0,740

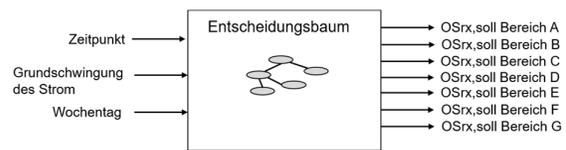


Bild 14 Topologie des ML-Modells

Nach dem Trainieren der Algorithmen entstand für jede relevante Oberschwingung ein Entscheidungsbaum. Als Beispiel wird hier nur der Entscheidungsbaum der 5. Oberschwingung dargestellt - siehe Bild 15. Dem Entscheidungsbaum kann entnommen werden, wie sich das Verhalten der 5. Oberschwingung in Abhängigkeit der Uhrzeit, des Tages (Zeitpunkt), Tag der Woche (Wochentag) und Grundschiwingung des Stroms verändert. Es wurde herausgefunden, dass die Uhrzeit eine entscheidende Rolle spielt. Das Verhalten kann in zwei Hauptblöcke ausgegliedert werden. Der erste Block beschreibt das Verhalten zwischen 0:00 und 06:00. Dieser entspricht dem Entscheidungsbaum des Bildes 15. Der zweite Block beschreibt das Verhalten von 06:00 bis 0:00.

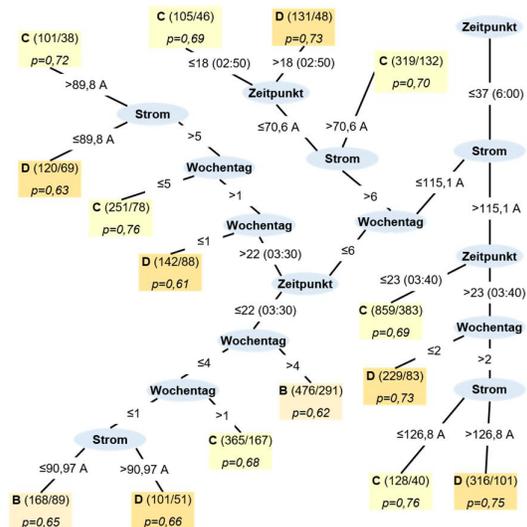


Bild 15 Entscheidungsbaum zur Klassifizierung des Verhaltens der 5. Oberschwingung (Anteil für den Zeitpunkt ≤ 6:00)

4 Schlussfolgerungen

Messtechnische Lösungen- die üblicherweise in der Primärtechnik für die Diagnose von Hochspannungsbetriebsmitteln eingesetzt werden - können verwendet werden, um das Übertragungsverhalten von Wandlern zu bestimmen. Das gemessene Übertragungsverhalten ermöglicht eine Beurteilung der Aussagekraft der Überwachung der Netzqualität

Sollte festgestellt werden, dass das Übertragungsverhalten der Wandler nicht ausreichend ist, um die Netzqualität zuverlässig zu beurteilen, besteht die Möglichkeit, die Netzqualität über den kapazitiven Abgriff der Durchführungen von Transformatoren zu verwenden.

Eine intelligente Datenauswertung kann die Aussagekraft der Überwachung der Netzqualität erhöhen. Der Ansatz von Algorithmen aus dem maschinellen Lernen ermöglicht zum Beispiel das Verhaltensmuster von Oberschwingungen algorithmisch darzustellen. Dieses Wissen über das Verhalten der Oberschwingungen kann anschließend weiterverwendet werden, um zu überprüfen, wann, wie und wo die Oberschwingungssituation sich verändert hat.

Literatur

- [1] IEC TR 61869-103 Messwandler – Anwendung von Messwandlern bei der Messung der Spannungsqualität (IEC TR 61869-103:2012)
- [2] Maschinelles Lernen: eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 2018
- [3] J. Velásquez, N. Liu, J. Reisbeck, S. Beckler, C. Butterer, S. Wenig, "Cost-effective Approach for On-line Measurement of Harmonics in Power Systems", Paper accepted for the International Conference on Power Systems Transients (IPST2019), Perpignan, Frankreich, Juni, 2019
- [4] J. Velásquez, „Breitbandige Messungen von Strom- und Spannungsüberschwingungen mit intelligenter Sensorik“, OMICRON Diagnosewoche 2019, Lindau, Februar 2019
- [5] J. Velásquez, N. Liu, „Untersuchung über Ansätze zur intelligenten Auswertung von Netzqualitätsmessungen“, VDE - Hochspannungstechnik 2018, Berlin, November 2018

Über den Autor



Juan Velásquez studierte Elektrotechnik in Venezuela. Nach seinem Abschluss in 2002 arbeitete er als Instandhaltungs- und Projektingenieur für Hochspannungsbetriebsmittel in der Aluminiumindustrie in Venezuela. Von 2006 bis 2008 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei dem CITCEA im Bereich Monitoring-Systeme für die Zustandsüberwachung von Leistungstransformatoren in Barcelona, Spanien angestellt. Von 2008 bis 2011 war er als Produktmanager für Diagnoselösungen bei OMICRON electronics GmbH in Österreich tätig. 2011 erhielt er seinen PhD auf dem Gebiet des intelligenten Monitorings und Diagnose von Leistungstransformatoren an der Polytechnischen Universität von Katalonien (UPC) in Barcelona, Spanien. Von 2011 bis 2016 arbeitete er als Ingenieur für HGÜ-Technologie bei der Amprion GmbH. Seit August 2016 ist er bei der Hubert Göbel GmbH schwerpunktmäßig im Bereich Netzqualität und Modellierung von Betriebsmitteln tätig.