

Workshop

Netzverträgliche Integration von Erzeugungsanlagen aus Oberschwingungssicht im Verteilnetz

11. - 12. September 2018
in Berlin

Kernaussagen

STROMNETZE

Forschungsinitiative der Bundesregierung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

NetzHarmonie – Workshop „Netzverträgliche Integration von Erzeugungsanlagen aus Oberschwingungssicht im Verteilnetz“

Kernaussagen

Im Folgenden sind die Kernaussagen des Verbundprojekts zusammengefasst, sortiert nach den einzelnen Vorträgen im Workshop.

1. Themenblock A: Mess- und Auswertungsverfahren (1) (Moderation: Fritz Santjer, UL DEWI)

1.1. Übersicht und Vorgehensweise (Fritz Santjer, UL DEWI)

Ziele der messtechnischen Untersuchungen zur Analyse der Oberschwingungsemission von Erzeugungseinheit (EZE) und Erzeugungsanlage (EZA) waren einerseits, die Einflüsse der Netzimpedanz und der Netzvorbelastung auf die Oberschwingungsemission sowie das Überlagerungsverhalten von einzelnen EZE innerhalb von Parks zu untersuchen und diesbezüglich verbesserte Mess- und Auswertemethoden zu entwickeln. Andererseits galt es, die frequenzabhängigen Netzimpedanzen im relevanten Frequenzbereich für ausgewählte Standorte zu identifizieren.

Als Basis der Untersuchungen wurden Messkampagnen durchgeführt. Mittels Prüfstandtests an drei verschiedenen Standorten wurden die Einflussfaktoren, wie Impedanz und Netzvorbelastung auf das Emissionsverhalten der EZE analysiert, aber auch das Überlagerungsverhalten der Oberschwingungsemissionen. In Freifeldtests an 10 verschiedenen Standorten wurde das Oberschwingungsverhalten der EZE und EZA einschließlich der Interaktion mit dem Netz und der Netzimpedanz untersucht.

Diese Messkampagnen mit zeitsynchronen Messungen an allen EZE innerhalb der EZA und den relevanten Netzknoten einschließlich der Netzimpedanzmessungen im Mittelspannungsnetz sowie die Prüfstandtests erlaubten komplexe Auswertungen und Analysen, die zu neuen Erkenntnissen im Bereich der Oberschwingungsemission der EZE und EZA und zu neuen bzw. verbesserten Mess- und Auswerteverfahren geführt haben.

1.2. Einfluss durch Netzvorbelastung (Fritz Santjer, UL DEWI)

Eine Netzvorbelastung wirkt sich zusammen mit der Netzimpedanz und den Impedanzen der EZE/EZA aus. Bei allen Untersuchungen sind die komplexen Größen von Oberschwingungsspannungen und –strömen zu untersuchen.

Durch Prüfstandtests mit Netzemulatoren wurde das Oberschwingungsverhalten von EZE (PV-Wechselrichter) bei unterschiedlicher Vorgabe von Netzvorbelastung in Betrag und Phase untersucht. Es zeigt sich ein Verhalten, dass in sogenannten „Fingerprints“ dokumentiert wurde und mit dem die EZE charakterisiert werden kann.

Unterschiedliche Wechselrichter unterscheiden sich in Ihrem Oberschwingungsverhalten bei Netzvorbelastung. Dabei steigen generell die Oberschwingungsströme an.

Für Freifeldtests am öffentlichen Netz wurden Methoden entwickelt, durch die sich die dominanten Quellen der Oberschwingungen (also Vorbelastung oder EZE-Emission) bei Netzvorbelastung identifizieren lassen.

Ladeströme bei EZA Verkabelungen bewirken aufgrund von Netzvorbelastung Oberschwingungsströme am Netzanschlusspunkt der EZA. Diese Oberschwingungsströme lassen sich durch Kenntnis der Oberschwingungsspannung am Netzanschlusspunkt der EZA und durch die frequenzabhängige Impedanz der Kabel innerhalb der EZA ermitteln.

1.3. Ergebnisse der Impedanzmessungen im Mittelspannungsnetz (Marc Meyer, HSU Hamburg)

In diesem Vortrag werden die Auswertungen bezüglich des Einflusses von Betriebsmitteln auf den Frequenzgang der Netzimpedanz vorgestellt.

Kernaussagen / Schwerpunkte:

- Die Frequenzgänge der Netzimpedanzen, die an den einzelnen Messstandorten gemessen wurden unterscheiden sich stark; einzige Gemeinsamkeit der Messstandorte: die erste Parallelresonanzstelle lag im Frequenzbereich von 300 bis 400 Hz.
- Bei allen Messungen waren die Auswirkungen der Betriebsmittel der Wind- oder Photovoltaikparks auf den Frequenzgang der Netzimpedanz gering.
- Aktive Beeinflussung der Netzimpedanz mit Hilfe von Drosseln (z.B. mit Hilfe eines FRT-Container) kann zu einem stark veränderten Frequenzgang der Netzimpedanz führen.

1.4. Einfluss durch Netzimpedanz (Stephan Adloff, ENERCON)

Das Projekt hat gezeigt, dass unterschiedliche Netzimpedanzen unter Berücksichtigung der EZE-Impedanz Auswirkungen auf die Oberschwingungsemissionen einer EZE haben können.

Die Oberschwingungsemissionen einer EZE hängen entscheidend vom Verhältnis der Netzimpedanz zur Impedanz der EZE für die einzelnen Oberschwingungsfrequenzen ab, wobei sich der Verlauf der Netzimpedanz aus der Impedanz des Netzes sowie der Impedanz weiterer EZE innerhalb der EZA zusammensetzt. Der frequenzabhängige Verlauf der Impedanz wirkt sich insbesondere dann auf die Oberschwingungspegel aus, wenn Resonanzstellen auftreten und diese im gleichen Frequenzbereich wie Spannungsvorverzerrungen und bzw. oder EZE-Emissionen liegen.

Da WEA im Allgemeinen über einen MS/NS-Transformator ans Netz angebunden werden, sieht der Wechselrichter vor allem den Impedanzverlauf aus der Parallelschaltung des Transformators und (sofern vorhanden) des WEA-Filters. Lediglich die erste Parallelresonanz des Netzes ist im Impedanzverlauf für den Wechselrichter sichtbar. Dagegen wird das Emissionsverhalten von PV-Wechselrichtern, zu denen meist kein EZE-Transformator gehört, deutlich stärker von benachbarten EZE und der EZA-Verkabelung beeinflusst. Die Auswertung der an den Niederspannungsklemmen der EZE gemessenen zwischenharmonischen Ströme und Spannungen erlaubt die Abschätzung des frequenzabhängigen Verlaufs der Impedanz. Abhängig von der Messkonfiguration können die Netzimpedanz oder die Filterimpedanz der EZE ermittelt werden.

Wenn die Netzimpedanz im Frequenzverlauf bekannt ist bzw. wäre, dann kann zumindest eine qualitative Aussage über das Emissionsverhalten einer EZE getroffen werden.

2. Themenblock B: Mess- und Auswertungsverfahren (2) (Moderation: Fritz Santjer, UL DEWI)

2.1. Summationsverhalten im Park (Florian Ackermann, ISE)

Egal ob Wind oder PV, EZE's weisen kein ideales Stromquellen Verhalten auf für Oberschwingungen. Der Grundgedanke einer Summation ist falsch. Vielmehr sollten EZE Filter und interne Regelung durch eine Impedanz oder Übertragungsfunktion nachgebildet werden.

Generell wurde beobachtet, dass die spektrale Verteilung der Emissionen einer einzelnen EZE sich ändert mit der Anzahl angeschlossener EZE's. Mit steigender Anzahl von EZE's verschiebt sich das Spektrum Richtung tieferen Frequenzen.

Aus der Parallelschaltung von Netz und EZE's entsteht eine Impedanz am Anschlusspunkt der EZE welche mit der spektralen Verschiebung des Spektrums korreliert.

Zwei Faktoren bestimmen im Wesentlichen die Emission einer EZE:

- Die Impedanz am Anschlusspunkt der EZE
- Die vorhandene Netzvorbelastung

Die Impedanz am Anschlusspunkt der EZE wird wiederum von drei Parametern bestimmt:

- Die vorhandene Netzimpedanz
- Die Impedanz einer einzelnen EZE
- Die Anzahl der parallel geschalteten identischen EZE's am gleichen Netzanschlusspunkt.

Es existiert eine Äquivalenz zwischen einer Variation der Anzahl von EZE's und einer Variation der Netzimpedanz. Es ist möglich die spektrale Verschiebung der Emission einer EZE vorher zu sagen indem mit einer künstlich geänderten Netzimpedanz [auch „Äquivalente Impedanz“ genannt] gemessen wird.

Die Netzvorbelastung spielt bei der Summation eine wesentliche Rolle: durch die Zusammensetzung von Netz und EZE bzw. EZA können vorhandene Netzvorbelastungen auf Resonanzen treffen und deutlich höhere Pegel hervorrufen als in der Einzelvermessung einer EZE.

2.2. Korrelationen und Tagesgänge (Björn Fricke, MOE)

Kernaussagen/ Schwerpunkte: Korrelation

Die Korrelationsanalyse ist eine Methode, die das leistungsabhängige Oberschwingungsverhalten veranschaulicht. Sie kann Indizien aufzeigen mit deren Hilfe die dominierende Oberschwingungsquelle identifiziert werden kann. Verfahren zur Berechnung und Darstellung der Korrelationen wurden entwickelt.

- Vorhandene Korrelationen können Hinweise auf jeweilige Einflussfaktoren geben.

- Mit Hilfe der Korrelationsanalyse können Rückschlüsse auf das Impedanzverhältnis zwischen EZE/EZA und dem Netz gezogen werden.
- Ist keine Proportionalität erkennbar, so kann, immer unter Betrachtung der jeweiligen Situation, z.B. die EZE/EZA als primäre Quelle einer Oberschwingungsspannung für unwahrscheinlich angesehen werden.
- Eine auftretende positive Korrelation liefert ein Indiz, dass die Oberschwingungen von der EZE/EZA im Netz angeregt werden.
- Bei der Interpretation der Ergebnisse muss immer die projektspezifische Situation berücksichtigt werden.
- Die Ergebnisse/Indizien dürfen nicht separat betrachtet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse/ Indizien müssen immer im Gesamtzusammenhang insbesondere mit den anderen Analyseverfahren betrachtet werden.

Kernaussagen/ Schwerpunkte: Tagesgänge:

Methoden zur Erstellung von Tagesgängen und zur Identifikation eines charakteristischen Profils des jeweiligen Tagesganges wurden erstellt.

- Sowohl das Vorhandensein, als auch das Fehlen eines charakteristischen Profils ist ein weiteres Indiz zur Gesamtbeurteilung der möglichen Quelle einer Oberschwingung.
- Ist ein charakteristisches Profil, welches nicht aufgrund des Erzeugungsganges der Primärenergie hervorgerufen wird, und keine Korrelation zur eingespeisten Wirkleistung vorhanden, so ist dies ein Indikator für eine vom Netz dominierende Oberschwingung.
- Die Ergebnisse/Indizien der Tagesgänge dürfen nicht separat betrachtet werden. Es müssen die daraus gewonnenen Indizien im Gesamtzusammenhang insbesondere mit den anderen Analyseverfahren in Zusammenhang gebracht werden.
- Charakteristische Tagesgänge liefern wichtige Indizien und Anhaltspunkte für die Oberschwingungsbeurteilung.

2.3. Phasenwinkel (Kaveh Malekian, ENERCON)

Detaillierte Untersuchung der Überlagerung von EZE-Oberschwingungsemissionen benötigt Informationen über den Oberschwingungsphasenwinkel. → Das Summationsgesetz ist für detaillierte Untersuchungen nicht ausreichend!

Selbst bei den EZE-Oberschwingungsemissionen mit stabilem Phasenwinkel (bzgl. der Grundschnungsspannung) können sich die Oberschwingungsemissionen verschiedener EZE aufgrund der unterschiedlichen Phasenwinkel der Grundschnungsspannung auslöschen.

Der stochastische Charakter des Oberschwingungsphasenwinkels lässt sich durch statistische Ansätze gut beschreiben.

2.4. Spannung-Strom-Verhältnis (Farhad Safargholi, TU Chemnitz)

Die Kenntnis der Wechselwirkung zwischen dem Anschlussnehmer und dem Netz sind für eine sinnvolle Definition der Netzanschlussregeln erforderlich.

Auswertung der Oberschwingungsströme ohne Betrachtung der Oberschwingungsspannungen ist für die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen dem Anschlussnehmer und dem Netz nicht ausreichend.

Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle ist bei Kenntnis der frequenzabhängigen Impedanzen sowie der Oberschwingungsspannung und des Oberschwingungsstroms am Verknüpfungspunkt möglich (Spannung-Strom-Verhältnis-Ansatz).

Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle ist mithilfe des Spannung-Strom-Verhältnis-Ansatzes mit einer bekannten Längsdrossel ohne die Kenntnis der Impedanzen möglich.

3. Themenblock C: Bewertungsverfahren (Moderation: Rainer Klose, WGC)

3.1. Neue Ansätze und verbesserte Verfahren für die Niederspannung (Max Domagk, TU Dresden)

Der Vergleich international relevanter Normen und Richtlinien (Stand 2016) zeigt, dass die berechneten Emissionsgrenzwerte für konkrete Anlageninstallation in der Niederspannung stark streuen. Die für Deutschland relevanten Verfahren (DACHCZ und VDE-AR-N 4105) liegen hierbei vergleichsweise zentral und weisen weder besonders hohe noch besonders niedrige Grenzwerte auf.

Bei der Analyse der Verfahren wurden diverse Probleme bzw. Schwachstellen identifiziert. Es existieren eine Ungleichbehandlung für verschiedene Anlagentypen (Unterscheidung zwischen Abnehmern und Erzeugern) sowie Unterschiede bei den adressierten Frequenzbereichen für die Berechnung der Grenzwerte. Die Aufteilung der zulässigen Störpegel wird je nach Philosophie des Verfahrens anschlusspunktbezogen oder netzweit koordiniert. Besonderheiten konkreter Anschlusspunkte wie z.B. mögliche Resonanzstellen oder niedrige X/R-Verhältnisse können nicht individuell berücksichtigt werden.

Die identifizierten Verbesserungsansätze basieren auf der detaillierten Gleichung nach DACHCZ, welche durch zusätzliche Parameter ergänzt wird. Hieraus resultieren die Gleichbehandlung unabhängig vom Anlagentyp sowie eine Vereinheitlichung des Frequenzbereiches. Eine Aufteilung der zulässigen Störpegel auf alle Anlagen erfolgt durch die Definition von Netzkapazitätsfaktoren für Abnehmer, Erzeuger und Speicher. Durch die Einführung weiterer Parameter kann individuellen Besonderheiten u.a. der frequenzabhängigen Netzimpedanz (Resonanzfaktor) Rechnung getragen werden.

Die Anwendung der Verbesserungsansätze in detaillierten Netzsimulationen (z.B. Netzausbaugrad 100%) führt zur besseren Ausnutzung der zulässigen Störeinträge im Vergleich mit den aktuell gültigen Verfahren. Durch Empfehlungen von Standardwerten für die neu eingeführten Parameter ergeben sich Vereinfachungen in der Anwendung des Verfahrens, was gleichzeitig deren Praxistauglichkeit sicherstellt.

3.2. Neue Ansätze und verbesserte Verfahren für die Mittelspannung (Farhad Safargholi, TU Chemnitz)

Die berechneten Emissionsgrenzwerte für konkrete Anlageninstallationen nach relevanten Normen und Richtlinien unterscheiden sich deutlich.

Ein neues Bewertungsverfahren sollte u. a. folgende Aspekte zur besseren Ausnutzung der zulässigen Störpegel berücksichtigen:

- Netzvorbelastung
- Anlagenimpedanz
- Netzimpedanz (Stichwort: Resonanzen)
- Definition von Netzkapazitätsfaktoren für Abnehmer, Erzeuger, Speicher und FACTS-Komponenten.

3.3. Neue Ansätze und verbesserte Verfahren für die Hochspannung (Max Hoven, FGH e.V.)

Analog zu den Erkenntnissen in der Niederspannungsebene liegen die Grenzwerte des deutschen Bewertungsverfahrens im Vergleich zu anderen nationalen und internationalen Bewertungsverfahren ebenfalls im „Mittelfeld“.

Die Schwächen des deutschen Verfahrens sind insbesondere das ungleiche Vorgehen hinsichtlich der Berücksichtigung der zulässigen Störpegel, Gleichphasigkeiten, Gleichzeitigkeiten, Koordination der Störpegel (anschlusspunktbezogen und netzweit) und insbesondere die fehlende Option zur Berücksichtigung netzspezifischer Resonanzstellen.

Zur Verbesserung des aktuellen Bewertungsverfahrens wird wie für alle anderen Spannungsebenen von der Bewertungsgleichung nach DACHCZ-Richtlinie ausgegangen. Diese bietet die Möglichkeit die identifizierten Schwächen für die Bewertung der Erzeuger durch verschiedene Parameter zu berücksichtigen, die im Wesentlichen den Parametern in der Niederspannungsebene entsprechen.

Bei Anwendung der modifizierten Bewertungsgleichung im Rahmen der detaillierten HS-Netzsimulationen ist bei einer praxisüblichen Auswahl der oben genannten Parameter bereits eine bessere Ausnutzung der zulässigen Störeinträge festzustellen. Eine bessere Ausnutzung bedeutet in diesem Fall, dass die Oberschwingungsbewertung die Anschlusskapazität des Netzes aus anderen technischen Kriterien – vor allem maximale Ströme und Spannungskriterien – nicht unnötig begrenzt, aber dennoch eine hinreichend sichere Bewertung trifft. Sind die Netzimpedanzen an den Anschlusspunkten genauer bekannt, so dass der Resonanzfaktor in der Bewertungsgleichung entsprechend für jede Ordnung parametrisiert werden kann, können weitere Verbesserungen bei der Ausnutzung erzielt werden. Dies setzt aber die gesicherte und praxisgerechte Ermittlung der frequenzabhängigen Netzimpedanz bzw. der zu erwarteten ungünstigsten Verhältnisse voraus. Dies ist Gegenstand des Themenblocks E.

4. Themenblock D: Modellierung von Einheiten und Anlagen (Moderation: Kaveh Malekian, ENERCON)

4.1. Modellvalidierung von Erzeugungseinheiten (Farhad Safargholi, TU Chemnitz)

Die Validierung spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Oberschwingungsmodelle und ihrer Anwendung.

Ein allgemeiner Modellvalidierungsprozess sollte unabhängig von der Oberschwingungsmodellstruktur sein und sowohl für die traditionellen als auch für die neuen Modelle gelten.

Berücksichtigung der folgenden Aspekte in einem Modellvalidierungsprozess sind sinnvoll:

- Definition der Anforderungen an die Messdaten,
- Berücksichtigung von Messungenauigkeiten,
- Arbeitspunktabhängigkeit der Oberschwingungen.

4.2. Oberschwingungsmodellbildung von Erzeugungsanlagen — Impedanzen (Kaveh Malekian, ENERCON)

Impedanzen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Überlagerung von EZE-Oberschwingungsemissionen.

Die Topologie der EZA hat einen wesentlichen Einfluss auf die Übertragung von den EZE-Oberschwingungsemissionen.

Die Position verschiedener EZE in einer EZA hat einen geringen Einfluss auf die Übertragung von den EZE-Oberschwingungsemissionen (bis zu 50. Ordnungszahl), solange sich alle EZE in einer Netzinsel (in einer Spannungsebene) befinden.

Untersuchung der Wechselwirkung einer EZA mit der OS-Vorbelastung im Netz benötigt die Kenntnis der frequenzabhängigen EZA-Impedanz.

Durch die Arbeitspunktabhängigkeit der EZE-Impedanzen weist die frequenzabhängige EZA-Impedanz ebenfalls einen zeitveränderlichen Charakter auf. Die Frequenz der EZA-Resonanzen kann möglicherweise mit der EZA-Einspeiseleistung zusammenhängen.

4.3. Oberschwingungsmodellbildung von Erzeugungsanlagen — Gleichzeitigkeit (Farhad Safargholi, TU Chemnitz)

Korrelation von Oberschwingungen (Gleichzeitigkeit von Oberschwingungen) hängt von EZE-Arbeitspunkten (Spannung, Wirkleistung und Blindleistung von Grundschwingung) ab.

Für einen konkreten EZA-Arbeitspunkt haben die EZE innerhalb der EZA unterschiedliche Arbeitspunkt.

Die Korrelation der EZE-Wirkleistungen mit der EZA-Wirkleistung wird durch folgende Größe beeinflusst:

- Anzahl von EZE,
- Mittlerer Abstand der EZE vom EZA-Mittelpunkt,
- Länge der Betrachtungszeitfenster.

5. Themenblock E: Netzsimulationen (Moderation: Hendrik Vennegeerts, FGH e.V.)

5.1. Einführung und relevante Modelle für Netzsimulationen (Max Hoven, FGH e.V. und Max Domagk, TU Dresden)

Durch den vermehrten Netzanschluss von Erzeugern und Verbrauchern mit umrichterbasierten Technologien gewinnt die netzweite Simulation von Oberschwingungen und frequenzabhängigen Impedanzen immer mehr an Relevanz.

Netzsimulation decken verschiedene Anwendungszwecke ab. Die Simulation realistischer OS-Pegel findet vorwiegend in der Forschung zu Klärung Grundsatzfragestellung (bspw. Einfluss neuartiger OS-Quellen auf die Pegel, Entwicklung der Höhe von OS-Pegel in zukünftigen Netzen, Aufteilung der zulässigen Störpegeln zwischen Spannungsebenen) ihre Anwendung. Netzbetreiber nutzen die Möglichkeit der Pegelsimulation überwiegend zu Auslegung der Rundsteuersender in ihren Netzen. Als zweiter Anwendungszweck ist die Ermittlung der frequenzabhängigen Netzimpedanz zu nennen, aus der sich Informationen über Lage und Höhe der Resonanzstellen an einem Netzknoten ergeben. So können potentielle Gefahren oder Handlungsspielräume bei der Netzanschlussbewertung oder in der Netzplanung erkannt werden.

Hinsichtlich der Berechnungsverfahren sind Verfahren im Frequenzbereich aus Gründen des Modellierungs- und Rechenaufwandes praxisüblich und zu bevorzugen. Die verwendeten Modelle lassen sich in passive und aktive Modelle unterscheiden. Die Ableitung eines aktiven Modells wird anhand einer Photovoltaik-EZA gezeigt, welche in reduziertes EZA-Modell überführt wird. Zur Nachbildung des korrekten, emissionstechnischen Verhaltens ist eine umfangreiche, messtechnische Erfassung jedes EZE-Typs inklusive der Abhängigkeiten zur Vorbelastung sowie des Arbeitspunktes notwendig. Zur korrekten Nachbildung von OS-Pegeln muss dieses Vorgehen auf alle Typen von Netznutzern (Haushalte, Ladesäulen, etc.) übertragen werden.

5.2. Vergleich von Simulations- und Messergebnissen realer Netze (Gesa Kaatz, HSU Hamburg)

Die Berechnung der Emissionsgrenzwerte für Oberschwingungen basiert auf einer vereinfachten Betrachtung der Oberschwingungsimpedanz, wobei die im Netz auftretenden Resonanzen nur unzureichend berücksichtigt werden. Die Vernachlässigung von Resonanzen kann jedoch zu unzulässig hohen oder unnötig niedrigen Oberschwingungspegeln führen.

Mit Hilfe unterschiedlicher Netzsimulationsprogramme wurden ein Mittelspannungsnetz nachgebildet und der resultierende Frequenzgang der Netzimpedanz mit dem gemessenen Frequenzgang verglichen. Insbesondere wurden unterschiedliche Kabelmodelle berücksichtigt. Gängige Netzsimulationsprogramme verfügen meist über Kabelmodelle, die den Einfluss des Skin-Effekts nicht berücksichtigen und somit die Frequenzabhängigkeit nicht adäquat nachbilden.

Werden die durch den Skin-Effekt frequenzabhängigen Kabelmodellparameter (R' und L') bei der Nachbildung des betrachteten Netzes berücksichtigt, stimmen allerdings die Lagen der Resonanzstellen bis 9 kHz mit denen des gemessenen Frequenzganges annähernd überein. Jedoch liegt der gemessene Amplitudengang der Netzimpedanz im höheren Frequenzbereich deutlich über dem Amplitudengang der Simulationsprogramme. Hier zeigt sich der dämpfende Einfluss der unterlagerten Verbraucher. Zudem liefern verschiedene Simulationsprogramme bei identischen Netzaufbau unterschiedliche Ergebnisse.

Die zuverlässige Bestimmung der Resonanzstellen mittels Netzsimulationen ist komplex. Die Ergebnisse hängen im hohen Maße von der Qualität und dem Detaillierungsgrad der Eingangsdaten (Netzdaten, bspw. Leitungslängen/-typen, Schaltzustände, etc.) sowie von den im Simulationswerkzeug zu Verfügung stehenden Berechnungsmodellen und deren Parametrierungsmöglichkeiten ab. Weiterhin stellen auch Impedanzen in den unterlagerten Netzen einen wichtigen, schwer abzuschätzenden Einflussfaktor dar.

5.3. Netzweite Simulation in exemplarischen Netzen (Max Domagk, TU Dresden, Farhad Safargholi, TU Chemnitz, und Max Hoven, FGH e.V.)

Unabhängig vom Anwendungszweck der Netzsimulation (Pegel- oder Impedanzsimulation) und der damit zusammenhängenden Anforderungen nach genauen Emissionsmodellen und exakter Nachbildung der Frequenzabhängigkeit stellt die Modellierung der unter-/ überlagerten Netzebene eine zusätzliche Herausforderung dar.

Dazu werden im Rahmen von Simulationsuntersuchung auf der Mittelspannungsebene die auf Basis verschiedener Annahmen für Emissionen resultierenden Pegel miteinander verglichen. In einem ersten Untersuchungsszenario werden die Emissionen in Form der maximal zulässigen Oberschwingungsstromgrenzwerte angenommen. Im Vergleichsszenario werden Emissionen auf Basis von Messungen bzw. im Rahmen des Projekts abgeleiteten EZA-Modellen herangezogen. Im Ergebnis zeigen sich erwartungsgemäß deutliche Unterschiede, da durch die Worst-Case-Betrachtung mit Oberschwingungsstromgrenzwerten deutlich höhere Pegel resultieren, die zu dem ein deutlich anderes Oberschwingungsspektrum aufweisen. Dies unterstreicht, dass die Berechnung möglicher Gesamtpegel eine sehr aufwendige Aufgabe darstellt, die bestenfalls in der Wissenschaft gelingen kann (s. Vortrag 1).

Der Einfluss hinsichtlich der Impedanznachbildung unterlagerter Netze wird durch Simulationen auf der HS-Ebene untersucht. Dabei werden die resultierenden Pegel bei Verwendung der tatsächlich, unterlagerten Impedanz sowie bei Verwendung einer praxisüblichen Ersatzschaltung miteinander verglichen. Auch hier ergeben sich deutliche Unterschiede, insbesondere aufgrund des Auftretens von Parallelresonanzen in der unterlagerten Netzebene, die für eine realistische Simulation berücksichtigt werden müssen. Eine genaue Ermittlung der Netzimpedanz an einem Knoten, wie sie etwa zur verbesserten Netzanschlussbewertung durch Parametrierung des Resonanzfaktors in Block C wünschenswert ist, setzt daher neben der hinreichenden Erfassung des zeitvariablen Impedanzmodells für direkt angeschlossene Kunden auch entsprechend genaue Modelle der benachbarten Netze voraus. Dies ließe sich am besten durch einen regelmäßigen Austausch gemessener oder simulierter Impedanzverläufe realisieren.

6. Themenblock F: Aktive Beeinflussung von Oberschwingungen durch Umrichterverhalten (Moderation: Stefan Reichert, ISE)

6.1. Spannungsquelle statt Stromquelle (Florian Ackermann, ISE)

Eine ideale Stromquelle die einen sinusförmiger Netzstrom einspeist verhält sich neutral, es trägt nicht dazu bei, die Spannungsqualität zu erhalten. Im Zusammenhang mit einem weiteren Ausbau der umrichterbasierten Einspeisung ist dieses Verhalten nicht wünschenswert bzw. nicht ausreichend.

Ein reiner Widerstand wirkt dämpfend auf die Oberschwingungsverzerrung und verbessert die Spannung. Es trägt jedoch nicht dazu bei, die Grundschiwingung der Spannung zu erhalten.

Ein Spannungsquellenverhalten unterstützt sowohl die Grundschiwingung der Spannung als auch die Erhaltung der Spannungsqualität. Die kompensierenden Ströme stellen sich automatisch gemäß der Netzsituation ein. Der Beitrag zu Spannungserhaltung bzw. die Intensität der Ströme kann über die Impedanz der Quelle eingestellt werden.

6.2. Oberschwingungs- und Impedanz- Charakteristik von Umrichtern bei unterschiedlichen Regelstrategien (Stefan Reichert, ISE)

Ziel der Entwicklung und Untersuchungen war die aktive Beeinflussung des Quellen-Impedanzverhaltens eines Wechselrichters durch unterschiedliche Regelstrategien. Es wurde eine klassische Stromregelstrategie (Regelziel: sinusförmiger Netzstrom) einer Spannungsregelstrategie mit virtueller Impedanz (Regelziel: sinusförmige Spannungsquelle mit ohmsch-induktiver Impedanz) gegenübergestellt.

Kernaussagen/ Schwerpunkte:

- Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass aufgrund des neuen Regelansatzes das Impedanz-Verhalten beeinflusst werden kann.
- Die Auswirkungen der beiden Regelstrategien wurden mittels Impedanz-Spektroskopie untersucht. Dazu wurde die Wechselrichterausgangsimpedanz mittels einer hochdynamischen, niederimpedanten AC-Spannungsquelle vermessen.
- Des Weiteren wurde das Verhalten im Zeitbereich im Zusammenspiel mit einer Oberschwingungslast untersucht. Aufgrund der Spannungsquellencharakteristik mit Ohmsch-induktiver Quellenimpedanz wirkt der Wechselrichter auf OS-Spannungen kompensierend. Die OS-Spannungen wurden durch eine ideale AC-Spannungsquelle, einer ohmschen Netznachbildung und durch eine nicht-lineare OS-Lasten erzeugt.
- Der spannungsregelnde Ansatz („Netz-erhaltende“ Betriebsweise) zeigt ein vielversprechendes positives Verhalten bezüglich Oberschwingungen.

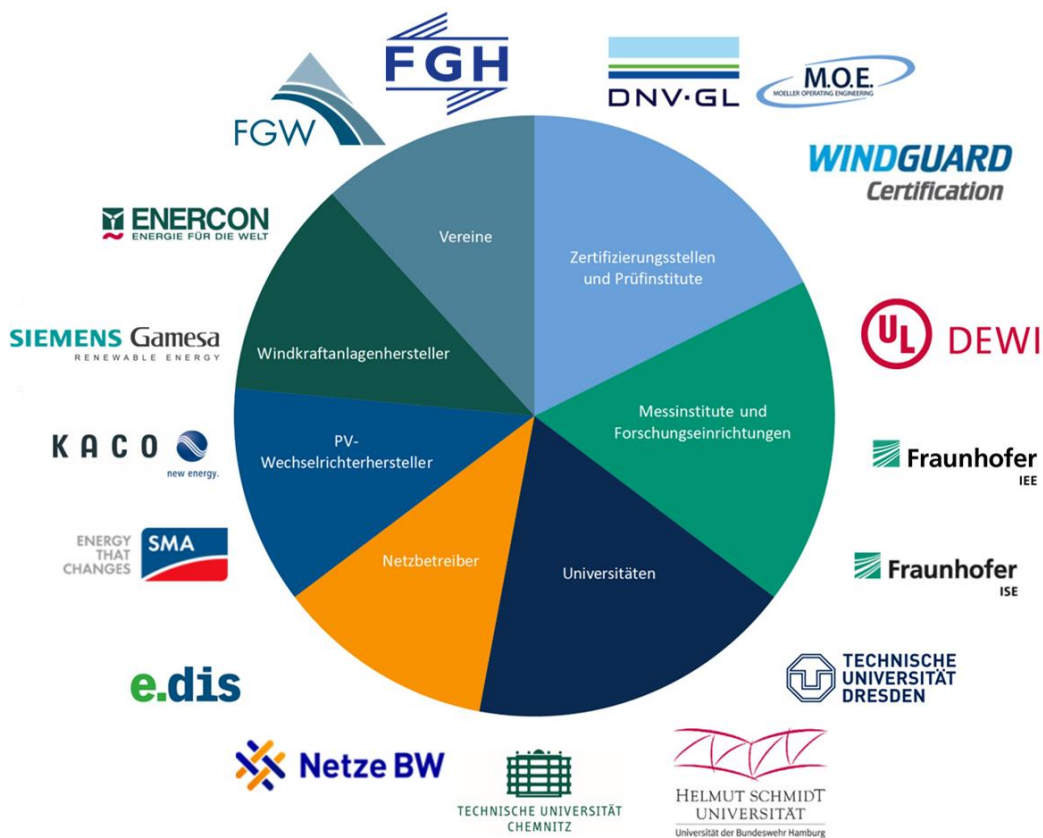
6.3. Gute Ströme/schlechte Ströme (Florian Ackermann, ISE)

Ströme die zu Verbesserung der Spannungsqualität beitragen können als gut oder wünschenswert eingestuft werden. Es ist jedoch nicht ausreichend die Ströme zu bewerten.

Wichtig wird in Zukunft das richtige Quellenverhalten zu bewerten, das bedeutet die Impedanz der EZE und die internen Spannungsquellen. Ein sinnvoller Verfahren sollte getrennt bewerten:

- Die Impedanzverhältnisse am Anschlusspunkt: Resonanzen vermeiden
- Die Netzvorbelastung und die internen Spannungsquellen der EZE.

Mitglieder des Forschungsverbunds



Verbundkoordinator:

