



hochschule mannheim

Steinbeis-Transferzentrum  
an der Hochschule Mannheim



## POWER QUALITY

Steinbeis-Transferzentrum ist für Bildungsmaßnahmen zertifiziert  
DIN EN ISO 9001:2008

---

» Zahlt sich aus: **Die Bildungsprämie**

---

Wir akzeptieren Prämiegutscheine!

# **Power Quality Vertiefungsseminar**

**27. Februar bis 1. März 2018**

**Mannheim**

Das Power Quality Vertiefungsseminar greift aktuelle Entwicklungen und Fragestellungen auf und informiert über neue Erkenntnisse und technische Regelwerke.

- **Systemische Betrachtung des Einflusses der E-Mobilität auf das elektrische Netz**

Die Abschaltung von Kraftwerken bzw. der Synchrongeneratoren hat einen direkten negativen Einfluss auf die Kurzschlussleistung des elektrischen Netzes. Damit einher geht eine Erhöhung der Netzimpedanz. Diese Entwicklung hat natürlich auch eine direkte Auswirkung auf die Spannungsqualität. Hinsichtlich der Spannungsqualität im Hoch- und Höchstspannungsnetz ist die Substitution der Einspeisung der ehemaligen Kraftwerke durch die Einspeisung von bis zu mehreren GW mit Hilfe der HVDC-Technologie im Norden Deutschlands zu beachten.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen und der Auswirkung der Energiewende auf das elektrische Netz stellt sich die Frage wie wirkt sich die E-Mobilität, genauer die Lade- und Entladevorgänge, auf das Netz aus und wie wechselwirken diese Einflüsse. Bis hin zur Frage wieviel Ladeinfrastruktur kann das elektrische Netz in seiner aktuellen Ausprägung versorgen. Können durch das Zusammenspiel erneuerbarer Energien, dem Laden von Elektrofahrzeugen und Energiespeichern positive Effekte erzielt werden? Dieser Beitrag beleuchtet diese aktuellen Entwicklungen mit einem systemtechnischen Blick auf das elektrische Netz.

- **Bewertung von Oberschwingungen**

Die Oberschwingungsemission von Erzeugungsanlagen wird neben dem Arbeitspunkt der Anlage beeinflusst durch die frequenzabhängige Netzimpedanz sowie durch die Oberschwingungsvorbelastung des Netzes.

Das Bewertungsverfahren für Oberschwingungen im Rahmen der Netzanschlussgenehmigung von Erzeugungsanlagen geht von der vereinfachten Annahme aus, dass die Netzimpedanz mit der Frequenz ansteigt (induktives Verhalten), wodurch die Grenzwerte der Oberschwingungsströme mit steigender Frequenz sinken. In der Praxis zeigen sich jedoch komplexe Netzimpedanzverläufe, die geprägt sind von mehreren Resonanzstellen und die die Oberschwingungsemission der Erzeugungsanlagen, wie z. B. Windenergie- und Photovoltaikanlagen, beeinflussen. Eine weitere Einflussgröße ist die Oberschwingungsvorbelastung des Netzes, die durch

Verbraucher oder andere Erzeuger entsteht und die Oberschwingungsströme in die interne Parkverkabelung oder auch in die Oberschwingungsfilter der Anlagen verursacht.

In diesem Beitrag wird beispielhaft gezeigt, wie sich die Oberschwingungsemissionen von Erzeugungsanlagen in Bezug auf die Netzimpedanz und auf Netzvorbelastung verhalten. Insbesondere wird auch darauf eingegangen, wie eine Identifikation der verursachenden Oberschwingungsquelle möglich ist, d.h. festzustellen, ob die Verzerrungen von der Leistungselektronik der Erzeuger oder vom Netz her kommen.

- **Dynamische Netzstützung**

Ziel der dynamischen Netzstützung ist es, die ungewollte Abschaltung von EZA bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen (LVRT) bzw. Spannungserhöhungen (OVRT) zu verhindern und damit zur Sicherstellung der Netzstabilität beizutragen. In E VDE-AR-N 4110 werden erstmals normative Anforderungen an das OVRT-Verhalten für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz gestellt.

Neben den kommenden Anforderungen für das Mittel- und Hochspannungsnetz in Deutschland sowie den Anforderungen in einigen anderen ausgewählten Ländern wird in diesem Beitrag auf die Nachweisführung eingegangen. Die unterschiedlichen Testeinrichtungen zur Durchführung der Nachweisprüfungen an Erzeugungsanlagen werden aufgezeigt, das Auswerte- und Bewertungsverfahren wird erläutert und an beispielhaften Testergebnissen verdeutlicht.

- **Beeinflussung von Elektrizitätszählern durch elektronische Lasten**

In aktuellen Veröffentlichungen wurde darauf hingewiesen, dass elektronische Elektrizitätszähler in Verbindung mit LED-Lampen unter bestimmten Umständen Fehlmessungen der elektrischen Energie aufweisen würden. Des Weiteren sind Fälle gemeldet worden, in denen der Austausch konventioneller Beleuchtung durch moderne LED-Technik nicht zu der gewünschten Energieeinsparung geführt hat, wenn die Abrechnung der Elektrizitätskosten mit Hilfe elektronischer Elektrizitätszähler erfolgte. Fraglich ist hierbei die Ursache dieser beobachteten Abweichungen. Bereits im Jahr 2007 hat das Fraunhofer IWES die Wechselwirkung zwischen elektronischen Elektrizitätszählern und PV-Wechselrichtern untersucht. Die Ergebnisse sind seinerzeit in die nationale und internationale Normung eingeflossen und haben zur Schaffung der internationalen Störfestigkeitsnorm IEC 61000-4-19 beigetragen. Es stellt sich nun die Frage, ob die Konformität mit dieser Norm Fehlmessungen des jeweiligen Elektrizitätszählers in Verbin-

dung mit LED-Beleuchtungen ausschließt, oder ob weitere Lücken in der Normung bestehen, die geschlossen werden müssen.

In dem öffentlich geförderten dreijährigen Forschungsprojekt RPC II untersucht das Fraunhofer IWES unter Anderem diese Fragestellungen. Es werden innerhalb des Projekts z. B. leitungsgebundene Störemissionen im Zeit- und Frequenzbereich von 50 Hz bis 30 MHz vermessen. Dies erfolgt einerseits an derzeit normgerechten Netznachbildungen, andererseits werden auch kapazitive und niederohmige Netzimpedanzen bei den Messungen nachgebildet, die aufgrund der heutzutage weitgehend verwendeten getakteten leistungselektronischen Komponenten mit ihren netzseitigen EMV-Filtern in modernen Niederspannungsnetzen oft auftreten. Der aktuelle Beitrag soll erste Untersuchungsergebnisse an LED-Beleuchtungen in Verbindung mit Dimmern und Elektrizitätszählern präsentieren.

- **Oberschwingungen in zukünftigen Niederspannungsnetzen**

Ladegeräte für Elektrofahrzeuge sowie Wechselrichter für Photovoltaik-Anwendungen emittieren aufgrund der eingesetzten leistungselektronischen Komponenten Oberschwingungen. Diese können deutlich von der vorhandenen Verzerrung der Netzspannung abhängen. Deshalb ist die Auswirkung einer hohen Durchdringung der genannten Technologien auf die Oberschwingungspegel in öffentlichen Niederspannungsnetzen zu untersuchen, um frühzeitig mögliche Überschreitungen existierender Grenzwerte zu erkennen und zusätzliche Anforderungen an die Normensetzung zu identifizieren. Es werden die Ergebnisse des vierjährigen, durch die Bundesregierung geförderten, Forschungsprojektes ElmoNetQ vorgestellt. Ausgehend von verbesserten Oberschwingungsmodellen, welche auch die vorhandene Spannungsverzerrung berücksichtigen wird anhand verschiedener Szenarien (ländliche Netze, städtische Netze) die Auswirkung von Ladegeräten für Elektrofahrzeuge und Wechselrichter für Photovoltaik-Anwendungen auf Oberschwingungspegel sowie frequenzabhängige Netzimpedanz mittels probabilistischer Simulationen untersucht.

- **Analyse des Oberschwingungsbeitrages von Kundenanlagen**

Die Festlegung von Oberschwingungsgrenzwerten sowie deren messtechnischer Nachweis sind wichtiger Bestandteil bei der Beurteilung der Emission von Kundenanlagen (Verbrauch, Erzeugung, Speicher). Es werden die aktuellen Überarbeitungen der relevanten nationalen und internationalen Regelwerke (u.a. TAR 41xx, D-A-CH-CZ Richtlinie) zur Berechnung von Oberschwingungsgrenzwerten sowie die Veränderungen bzw. Erweiterungen und die zugrundeliegenden Konzepte dargestellt. Im Rahmen der messtechnischen Überprüfung ist ein einfacher Vergleich der Messwerte mit den Grenzwerten nicht ohne

weiteres möglich, da der tatsächliche Einfluss auf die Oberschwingungspegel auch von den Bedingungen am Netzanschlusspunkt abhängt. Ansätze und Ideen zur sachgerechten Bestimmung des Beitrages einer Kundenanlage werden vorgestellt, wobei auch die Grenzen der Messgenauigkeit kritisch betrachtet werden.

- **Modellierung und Analyse der Wechselwirkung von Oberschwingungserzeugern**

Für die Vorhersage des Oberschwingungslevels im Niederspannungsnetz werden häufig nur einzelne Betriebsmittel auf ihr Verhalten an rein sinusförmiger Versorgungsspannung hin untersucht. Beim Anschluss an das reale Netz liegen jedoch zum einen Vorverzerrungen der Spannung vor und zum anderen tragen die injizierten Oberschwingungsströme der nichtlinearen Betriebsmittel zu einer weiteren Verzerrung bei. Die Auswirkungen auf Wirk-, Blind- und Scheinleistungsbelastungen des Netzes lassen sich nur dann gut abschätzen, wenn die Wechselwirkungseffekte verschiedener Oberschwingungserzeuger berücksichtigt werden. Ausgehend von theoretischen Überlegungen zu Vor- und Nachteilen gängiger Berechnungsmethoden der Leistungsflussrechnung werden die Zusammenhänge zwischen Oberschwingungsspannungen und Oberschwingungsströmen analysiert und die Ergebnisse eigener Modellierung vorgestellt. Dass eine größere Anzahl an Oberschwingungserzeugern nicht automatisch ein höheres Oberschwingungslevel bedeutet, wird anhand mathematischer Methoden zur Berücksichtigung von Dämpfungs- und Diversitätseffekten gezeigt.

- **Das Konzept der elektromagnetischen Verträglichkeit**

An das Versorgungsnetz angeschlossene Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen erzeugen durch ihren Betrieb Netzzrückwirkungen, d.h. es werden Störgrößen (Oberschwingungen, Flicker) in das Netz eingeführt. Man spricht von Störaussendung. Durch die endliche Impedanz der Netze wird die Spannung am Anschlusspunkt einer anderen Kundenanlage beeinflusst. Die Spannung schwankt oder sie ist verzerrt. Andere Geräte und Einrichtungen können dadurch, abhängig von ihrer individuellen Störfestigkeit, in ihrer Funktion beeinflusst werden. Die EN 61000-2-2 bzw. EN61000-2-12 legt Verträglichkeitspegel fest. Der Netzbetreiber muss die Störgrößen, in Abhängigkeit von den individuellen Verteilungsgesetzen im Netz, über alle Netzebenen hinweg so koordinieren, dass die Verträglichkeitspegel am Verknüpfungspunkt eingehalten werden. Dazu sind tiefgreifende Kenntnisse über die Netzstruktur, über mögliche Resonanzen, über die physikalischen Eigenschaften der Kundenanlage (z.B. Oberschwingungen, Summationsverhalten, Gleichzeitigkeit) erforderlich. Dies ist aus technischer

Sicht nicht vollständig möglich. Selbst dann, wenn alle Geräte und Einrichtungen ihre normativen Grenzwerte einhalten, kann es durch Häufung artgleicher Geräte zu einer Überschreitung der Verträglichkeitspegel kommen. Das Schutzziel – alle üblichen Geräte müssen einwandfrei betrieben werden können – ist nicht mehr für 100% der Zeit sichergestellt. Dies gilt auch, wenn unterschiedliche Phänomene (Oberschwingungen, Flicker, Unsymmetrien) gleichzeitig auftreten. Alle Normen und Regelwerke begrenzen immer nur ein einzelnes Phänomen, beispielsweise Grenzwerte für Oberschwingungen. In technischen Regelwerken wird meist das 95%-Quantil über einen einwöchigen Messzyklus betrachtet. Daraus ergeben sich jedoch eine Reihe von rechtlichen Fragestellungen:

- Sind die vorhandenen technischen Regelwerke geeignet, in allen Fällen die Schutzziele nach dem EMVG sicherzustellen?
- Ist ein Netzbetreiber berechtigt/verpflichtet zum Erreichen der Schutzziele „schärfere „ Anforderungen in seiner TAB festzulegen, die über die Anforderungen von Normen und Regelwerken (z.B. FNN-TAR, D-A-CH-CZ-Richtlinie) hinausgehen. Technisch gesehen, wären hier Planungspegel in allen Netzebenen anzusprechen.
- Sind Schutzziele höherwertiger anzusehen, als eine mögliche Beschränkung des freien Warenverkehrs
- Darf ein Netzbetreiber Anforderungen für Phänomene festlegen, für die es derzeit keine Normen gibt (z.B. Gleichströme, Oberschwingungen im Bereich 9 bis 30 kHz).
- Darf ein Anschlussgesuch auf Basis von Richtwerten erfolgen, oder ist immer eine angemessene Berücksichtigung der tatsächlichen Verhältnisse erforderlich (Verhältnismäßigkeit)
- Welche Pflichten/Rechte hat der Hersteller bzw. Betreiber einer Kundenanlage um zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit im Gesamtsystem beizutragen
- Wer haftet für Schäden bei einer nicht angemessenen Beachtung der Konzeption der elektromagnetischen Verträglichkeit

Die Bewertung der rechtlichen Fragen im Rahmen der EU-Verordnungen und nationalen Gesetze wird von einem Rechtsanwalt eingehend durchgeführt.

Prof. Dr.-Ing. W. Mombauer (Seminarleiter)

*POWER QUALITY VERTIEFUNGSEMINAR  
...immer am letzten Dienstag im Februar*

## **Systemische Betrachtung des Einflusses der E-Mobilität auf das elektrische Netz**

- Mögliche Entwicklung der E-Mobilität (Was kann die heutige Netzinfrastruktur leisten?)
- Einfluss und Ursache der verschwindenden Kurzschlussleistung
- Einfluss der HVDC-Stationen
- Ergebnisse aktueller Studien und Berichte
- Wieviel Ladeinfrastruktur passt in das Netz
- Netzzrückwirkungen
- Wechselwirkung PV und Ladeinfrastruktur
- Ausblick und Handlungsbedarf

## **Oberschwingungen**

- Bericht aus dem Forschungsprojekt Netzharmonie
- Methoden zur Quellenidentifikation (Netzvorbelastung oder EZE)

## **OVRT/LVRT-Verhalten**

- unterschiedliche Anforderungen in verschiedenen Ländern
- Testequipments
- Beispielhafte Testergebnisse, Auswertungen

## **Beeinflussung von Elektrizitätszählern durch elektronische Lasten**

- Elektrische Grundlagen der Messtechnik im Elektrizitätszähler
- Klassifizierung elektrischer Verbraucher
- LED-Beleuchtungseinrichtungen
- Im Betrieb auftretende Spannung- und Stromkurvenformen
- Erste Ergebnisse von Zähleruntersuchungen

## **Oberschwingungen in zukünftigen Niederspannungsnetzen**

- Oberschwingungsmodelle für Elektrofahrzeuge und PV-Wechselrichter
- Probabilistische Simulation hoher Durchdringungsraten
- Abschätzung der Aufnahmekapazität für ländliche und städtische Netze
- Empfehlungen für die Verbesserung der Aufnahmekapazität
- Beispielmessungen aus zentralen und verteilten Ladeinfrastrukturen

## **Analyse des Oberschwingungsbeitrages von Kundenanlagen**

- Verfahren zur Berechnung von Emissionsgrenzwerten
- Vorstellung und Vergleich verschiedener Bewertungsmethoden
- Aktivitäten der relevanten CIGRE Arbeitsgruppen (C4.40, C4.42)
- Messtechnische Aspekte (u.a. zu Messunsicherheiten)
- Mess- und Bewertungsbeispiele

## **Modellierung und Analyse der Wechselwirkung von Oberschwingungserzeugern**

- Oberschwingungsstudien für elektrische Verteilnetze
  - Ziele, gängige Berechnungsmethoden, Vor- und Nachteile, Herausforderungen
  - Zeitbereichsmethoden versus Frequenzbereichsmethoden
- Leistungsflussberechnung unter Berücksichtigung von Oberschwingungen
  - Auswirkung von Oberschwingungen auf Wirk-, Blind- und Scheinleistung
- Oberschwingungswechselwirkungen
  - Zusammenhang Oberschwingungsspannungen/ Oberschwingungsströme
  - Einfluss verzerrter OS-Spannungen auf OS-Ströme von nichtlinearen Lasten am Beispiel von LED-Lampen, Präsentation von Messergebnissen und Analyse
  - Modellierung der Wechselwirkung mittels Crossed-Frequency-Admittanz-Matrizen, Ergebnisse eigener Modellierung
- Dämpfungs- und Diversitätseffekte
  - mehr Oberschwingungserzeuger bedeuten nicht automatisch höheres Oberschwingungslevel
  - mathematische Methoden zur Berücksichtigung der Effekte

## **Das Konzept der elektromagnetischen**

- Beeinflussungssystem
- Wichtige Punkte im Netz
- Verträglichkeitspegel, Planungspegel
- Verteilung der Störgrößen im Netz
- Koordination der Störaussendung

## **Rechte und Pflichten des Netzbetreibers hinsichtlich Power Quality**

- **Grundlagen**
  - Network Code for Requirements for Grid Connection applicable to all Generators (RfG)
  - Network Code for Demand Connection (DC)
  - EnWG – Rechte und Pflichten des Netzbetreibers
  - NAV
  - EMVG
- **Technische Regelwerke**
  - VDE/FNN-Anwendungsregeln (TAR)
  - DACH-CZ-Richtlinie
  - Sonstige Regelwerke (z.B. FGW)

- **Anwendungsbeispiele**
  - Grenzwerte – absolute Größen auch bei Einzelfallproblemen?
  - Überprüfungspflichten?
  - Netz - eine Ortsfeste Anlage?
  - Besonderheiten bei EEG-Analgen
  - Der Haftungsfall

### **Referenten**

- M. Sc. Anke Fröbel  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Dr.-Ing. J. Kirchhof  
Fraunhofer IWES
- Dr.-Ing. J. Meyer  
TU Dresden
- Prof. Dr.-Ing. W. Mombauer  
HS Mannheim
- Dipl.-Ing. S. Müller  
TU Dresden
- Dipl.-Ing. F. Santjer  
DEWI UL International GmbH
- Dipl.-Ing. E. Stachorra  
KoCoS Engineering GmbH
- Dipl.-Ing. (FH) Ass. Jur. M. Voß,  
M.O.E. GmbH

## **Teilnehmerkreis**

Netzbetreiber, Hersteller von elektrotechnischen Geräten und Anlagen, Hersteller und Betreiber von Erzeugungsanlagen und Komponenten, Prüflabors

## **Voraussetzung**

Grundlagen der Netzurückwirkungen

## **Seminargebühr: 1700 EUR**

Im Preis sind Arbeitsunterlagen und Mittagessen inbegriffen.

**Für dieses Seminar kann eine Bildungsprämie beantragt werden.**

**Die Bildungsprämie wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und aus dem Europäischen Sozialfonds der Europäischen Union gefördert.**

**Anmeldeformulare und Hinweise zur Bildungsprämie unter**

**<http://www.bildungspraemie.info/>**

**Steinbeis-Transferzentrum  
an der Hochschule Mannheim  
Paul-Wittsack-Str. 10  
68163 Mannheim**



**Telefon: (0621) 292-6316  
Fax: (0621) 292-6452  
e-mail: [stz-tb@hs-mannheim.de](mailto:stz-tb@hs-mannheim.de)**

**Steinbeis-Transferzentrum ist für Bildungsmaßnahmen zertifiziert  
DIN EN ISO 9001:2008**

---

**>> Zahlt sich aus: Die Bildungsprämie**

---

**Wir akzeptieren Prämiengutscheine!**



**STEINBEIS-TRANSFERZENTRUM  
AN DER HOCHSCHULE MANNHEIM**

**Anmeldung**

Fax: +49 (0)621 292 6452

**Bitte senden an:**

Steinbeis-Transferzentrum  
Frau Andrea Bentz  
Paul-Wittsack-Straße 10  
D-68163 Mannheim

**Seminar**

„POWER QUALITY – Vertiefungsseminar 2018“ in Höhe von EUR 1700,00.  
Projekt-Nr.: 4247

**27.2., 8.30 – 17.30 Uhr; 28.2. – 1.3.2018, 8.00 – 17.30 Uhr, Hochschule Mannheim, Paul-Wittsack-Straße 10  
Steinbeis-Transferzentrum an der Hochschule Mannheim**

**Anmeldung erbeten bis zum 15.2.2018**

---

Hiermit melde ich mich verbindlich für o. g. Seminar an.

Frau/Herrn

**Rechnungsanschrift, falls von nebenst. Angaben  
abweichend:**

Firma

**Firma**

Abteilung

**Abteilung**

Straße

**Straße**

PLZ/Ort

**PLZ/Ort**

E-Mail des Teilnehmers

Telefon

---

Datum

Unterschrift

Sie erhalten nach der Anmeldung umgehend eine Bestätigung.

Bei einer Stornierung der Teilnahme werden 50 Euro bis 2 Wochen vor Veranstaltungsbeginn, danach die volle Gebühr fällig.

Das Steinbeis-Transferzentrum behält sich vor, bis 4 Tage vor Seminarbeginn die Veranstaltung ohne Erstattung der evtl. entstandenen Reisekosten abzusagen.