



hochschule mannheim

Steinbeis-Transferzentrum  
an der Hochschule Mannheim



## POWER QUALITY

Steinbeis-Transferzentrum ist für Bildungsmaßnahmen zertifiziert  
DIN EN ISO 9001:2015



» Zahlt sich aus: **Die Bildungsprämie**

Wir akzeptieren Prämiegutscheine!

# **Power Quality Vertiefungsseminar 18. bis 20. Feb 2020 Mannheim**

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

- **Thermografie und Power Quality – ein ganzheitlicher Ansatz**  
Energieeffizienz (Frequenzumrichter) zur Reduzierung des CO<sup>2</sup>-Ausstoßes verstärken die negativen Einflüsse der Verbraucher auf die Energieversorgung. Weitere Anforderungen wie IoT 4.0 usw. verlangen eine „saubere“ Stromversorgung.  
Auf der anderen Seite stehen die Techniker in den vielfältigsten Positionen, die diese Anforderungen im täglichen Arbeitseinsatz umsetzen müssen. Störungsanalysen müssen in kürzester Zeit erfolgen und Lösungsansätze sofort umgesetzt werden.  
Heute stehen den Technikern zwei hochwertige Tools für diese Aufgaben zur Verfügung.  
Moderne Netzzrückwirkungs-/Power-Quality-Analyse bieten umfangreiche Analysemöglichkeiten für Oberschwingungs-, Flicker- und Transienten-Messungen und/oder die Erfassung von Spannungseinbrüchen.  
Oberschwingungen erzeugen jedoch auch unter Belastung Verlustwärme in den Schaltanlagen oder z.B. in Netzteilen. Die thermografische Untersuchung einer Schaltanlage bietet einen ersten Hinweis für evtl. Oberschwingungen und/oder Symmetrieerscheinungen.
- **Interaktionen zwischen Wechselrichtern und Netzen in Theorie und Praxis**  
In diesem Seminarbeitrag werden die Interaktionen zwischen elektrischen Versorgungsnetzen und Wechselrichtern betrachtet. Anschließend an eine Einführung in die Thematik liegt der Fokus dieses Beitrags auf zwei wesentlichen Aspekten. Erstens wird der Einfluss der frequenzabhängigen Netzimpedanz auf das Regelverhalten und die Stabilität netzparalleler Wechselrichter vorgestellt. Zweitens wird die Veränderung der frequenzabhängigen Netzimpedanz durch den Anschluss von Wechselrichtern betrachtet. In beiden Fällen wird insbesondere der Einfluss von Resonanzstellen innerhalb des Netzes und innerhalb der Ausgangsimpedanz des Wechselrichters berücksichtigt.  
Neben der theoretischen Erörterung der Zusammenhänge anhand mathematischer Modelle werden die Interaktionen auch durch Messergebnisse aus Labor und öffentlichen Niederspannungsnetzen diskutiert. An-

hand der gezeigten Messergebnisse ist es möglich den Einfluss des überlagerten Netzes, der Lasten und der Einspeiser auf die frequenzabhängige Netzimpedanz separat zu quantifizieren und die Ursachen für Resonanzstellen zu ermitteln.

- **Dynamische Stabilität**

Der Ersatz von konventionellen Kraftwerken durch erneuerbaren Energien und somit das Fehlen von rotierenden Massen im Netz, führt zu neuen Bewertungen des Systemverhaltens. Grundlegende Überlegungen zur „künstlichen Schwungmasse“ werden angestellt und die derzeitige Situation in Deutschland beleuchtet.

- **VDE | FNN TAR`s – Systemstabilität Verteilnetz**

Die EU-Grid-Code-Verordnungen und die Umsetzung in den VDE | FNN TAR`s bedeuten einen fundamentalen **Systemwandel in der Energiewirtschaft**, Verteilnetze werden in die Verantwortung genommen!

**Der Ausstieg aus dem Betrieb konventioneller Kraftwerke** (Kernenergie, Braun- und Steinkohle) mit einem für langlebige Netzinfrastrukturen sehr engen Zeitrahmen setzt die Übertragungsnetzbetreiber in die Pflicht dafür zu sorgen, dass ein Systembetrieb weiterhin stabil mit bekannten Zuverlässigkeiten und Verfügbarkeiten erreicht werden kann. Dazu müssen die Verteilnetze „funktionieren“, Systemaufgaben übernehmen und Beiträge zur Systemstabilität leisten.

**Diese Aufgabe unterscheidet sich fundamental von der bisherigen Rolle Kundenanlagen anzuschließen und mit Leistung (Energie) zu versorgen. Zukünftig besteht die Rolle darin, ein funktionierendes System in Absprache oder nach Vorgaben mit anderen Netzbetreiber koordiniert zu betreiben, das alle notwendigen Beiträge zur Führung des Gesamtsystems ermöglicht.**

Stichpunktartig sind folgende Anforderungen zusammengestellt:

- Stabile Teilnetze (Verteilnetzebene) sind für ein stabiles Verbundnetz die Grundlage dafür, dass das Übertragungsnetz auch dynamische Vorgänge bei größeren Störungen beherrschen kann.
- Das Zusammenwirken aller Erzeugungsanlagen erfordert „passende“ Regelkonzepte, die zukünftig auch den Beitrag dezentraler Erzeugungsanlagen erfordern
- Inselnetzfähigkeiten von Teilnetzen sind Voraussetzung für Stabilität im Verbund

**Der TAR-basierte Ansatz – basierend auf den EU-Grid-Code-Verordnungen – stellt die Einzelanlage mit ihren Fähigkeiten in den Vordergrund. Eine Systemsicht ist nicht formuliert.** Allerdings unterstützen die Anlagen jetzt mit ihren neuen Eigenschaften nach den TAR die Bildung von Systemeigenschaften – eine Aufgabe, die Verteilnetzbetreiber zukünftig aktiv gestalten müssen.

Die TAR formuliert systemverträgliche Eigenschaften für Anlagen:

- Beurteilt jede Erzeugungsanlage für sich am Netzanschlusspunkt
- Systemische Aspekte, die das Zusammenwirken aller Erzeugungsanlagen berücksichtigen, sind nur durch Prüfmechanismen zum Netzanschluss vorhanden, die konkrete Kenntnis über das Zusammenwirken der Anlagen und Netze wie
  - Nutzung dynamische Netzstützung
  - Primärregelung
  - P(f)-Charakteristik („Fahren auf der Kennlinie“)
  - Teilnetzbetriebsfähigkeit
  - Austausch von Systemdienstleistungen
  - Konformität aller Schnittstellen mit vorgebbaren Eigenschaften
  - bestehen nicht.
- Die TAR setzen implizit voraus, dass es ausreichend sei, wenn alle Erzeugungsanlagen „TAR-konform“ wären – was nicht korrekt ist
- Die Forderung zum „Fahren auf der Kennlinie“ ist nicht passend zur Sicherstellung einzelner Stabilitätsaspekte

Die Gestaltung von Stabilitätsanforderungen stellt die Verteilnetze vor fundamental neue Herausforderungen, die aktuell weder

- technisch
- organisatorisch und
- vertragsrechtlich

abgebildet sind und zu bereits neuen Anforderungen der TAR ergänzt werden müssen.

Der Gesetzgeber wird zeitnah weitergehende Verordnungen erlassen, die

1. die vollständige Nutzung der TAR im Netzanschlussmanagement voraussetzt
2. weitergehende Gestaltung der Verteilnetze mit allen Aspekten fordert
3. Absprachen mit vor- und nachgelagerten Netzbetreibern (vertraglich fixiert)

vorschreiben.

Dem Ausstieg aus dem Betrieb konventioneller Kraftwerke muss mit einem „Funktionieren“ der Verteilnetze begegnet werden.

**Netzbetreiber müssen sich dieser Herausforderung stellen und ihr Unternehmen entsprechend vorbereiten!**

- **Kosten-Nutzen-Analyse in Bezug auf EMV und Power Quality in der Energiewirtschaft aus Sicht der Volkswirtschaft**

Alle Wirtschaftssubjekte, sowohl Hersteller als auch Netzbetreiber, optimieren aus rationalem Kalkül ihre Geschäftstätigkeiten im Rahmen ihres regulatorischen und marktlichen Umfeldes. Dabei wird aus Sicht des Staates nicht in jeden Fall ein Wohlfahrtsmaximum erreicht. Dennoch ist es möglich, betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Optima in Übereinstimmung zu bringen. Mittels Grundsätzen aus der Entscheidungstheorie kann über Kosten-Nutzen-Analysen der optimale Einsatz von Maßnahmen (Investitionen) für Power Quality Management im weitesten Sinne gefunden werden. Eine Unterlassungsvariante birgt hohe Risiken durch intertemporale soziale Kosten. Ferner wird der Versuch unternommen, Nutzen zu Monetisieren.

- **Clusteranalyse im Power Quality Management**

Die Anwendung von Clusteranalyseverfahren im Power Quality Management gestattet eine Steigerung der Effizienz, sowohl beim Messen von ausgewählten Kennwerten der Spannungsqualität (Monitoring) als auch in der Interpretation großer Mengen an Messdaten im Zusammenhang mit nicht-elektrischen Kenngrößen (Big Data). Nach einführender Übersicht zu verschiedenen Verfahren der Bildung von Clustern, Modellprüfung und Validierung wird der k-means-Algorithmus näher vorgestellt. Am Beispiel der Einbeziehung des k-means-Verfahren im Power Quality Management werden verschiedene Anwendungsfälle aufgezeigt.

- **Charakterisierung der Ableitströme elektrischer Geräte zum Anschluss an das Niederspannungsnetz**

In den letzten Jahren hat sich die Anzahl der elektrischen Geräte mit modernen leistungselektronischen Schaltungstechnologien deutlich erhöht. Außerdem gewinnt auch Schmalband-PLC im Bereich zwischen 30 kHz und 95 kHz an Bedeutung. Diese Entwicklungen können eine erhebliche Auswirkung auf Ableitströme haben, welche z.B. Auswirkungen auf Funktion von Schutzeinrichtungen haben können. In einer umfangreichen Studie wurden die Ableitströme und deren Charakteristik für verschiedene moderne leistungselektronische Geräte unter unterschiedlichen Netzbedingungen systematisch untersucht. Dieser Beitrag fasst die Ergebnisse der Untersuchungen zusammen.

- **Charakterisierung der Gleichstromemission durch elektrische Geräte für den Anschluss im Niederspannungsnetz**

Gleichanteile im Niederspannungsnetz können Funktionsstörungen aufgrund der Sättigung des Eisenkerns bei Betriebsmitteln wie bspw.

Verteilnetztransformatoren oder Schutzgeräten oder eine verstärkte Korrosion von Erdungsanlagen bewirken und sind deshalb wirksam zu begrenzen. Bisher existieren kaum Erfahrungen zu Charakteristik und Betrag der Gleichströme, welche bspw. durch Photovoltaik Inverter oder Ladegeräte für Elektrofahrzeuge emittiert werden. Auch allgemein anerkannte Messvorschriften sind bisher nicht verfügbar. Der Beitrag präsentiert nach einer kurzen Einführung der verwendeten Messmethoden die Ergebnisse einer umfangreichen Messkampagne zur Bestimmung der Gleichstromanteile durch moderne leistungselektronische Geräte.

- **Einfluss der Modellbildung auf die Genauigkeit von Oberschwingungssimulationen im Niederspannungsnetz**

Moderne Oberschwingungssimulationen benötigen eine große Zahl an Eingangsgrößen, welche zudem auch zeitlich und örtlich variabel sind.

Der Oberschwingungspegel im vorgelagerten MS-Netz sowie Art und Anzahl der bei den Kunden angeschlossenen Geräte sind nur zwei Beispiele. Darüber hinaus hat auch die Art der verwendeten Oberschwingungsmodelle für Geräte bzw. Kunden einen maßgeblich auf die Ergebnisse. Der Vortrag diskutiert am Beispiel der Analyse des Einflusses einer erhöhten Durchdringung von Elektrofahrzeugen bzw. Photovoltaik-Wechselrichtern im Niederspannungsnetz den Einfluss der verschiedenen Eingangsgrößen und Modellierungstechniken auf die Ergebnisse. Es wird gezeigt, dass eine angemessen gute Modellierung aller Elemente der Simulation wichtiger als die detaillierte, besonders exakte Modellierung einzelner Teile ist.

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

## **Thermografie**

- Grundlagen
- Fehlermöglichkeiten
- Praxisbeispiele

## **POWER QUALITY**

- Neue geplante Normenvorgabe (EN50160/IEC61000-4-30/IEC61000-2-4)
- SupraHarmonische
- Praxisbeispiele
- Auswirkungen auf die PQ-Geräte

## **Interaktionen zwischen Wechselrichtern und Netzen in Theorie und Praxis**

- Zeitkontinuierliche und zeitdiskrete Modellierung leistungselektronischer Systeme für den Netzparallelbetrieb
- Modulare Modellierung des Betriebsverhaltens leistungselektronischer Systeme mit aktiver Dämpfung
- Ansätze zur Messung der frequenzabhängigen Netzimpedanz
- Vorstellung von Messungen zur separaten Quantifizierung des Einflusses von Lasten und Erzeugern auf die frequenzabhängige Netzimpedanz sowie deren Resonanzstellen in öffentlichen Niederspannungsnetzen
- Ansätze zur Messung der frequenzabhängigen Netzimpedanz
- Ansätze zur Untersuchung der Stabilität von Wechselrichtern im Netzparallelbetrieb
- Beschreibung von Stabilität und Betriebsverhalten netzparalleler Wechselrichter in Abhängigkeit von Netzimpedanzen mit Resonanzstellen

## **Dynamische Stabilität**

- Was bedeutet Stabilität
- Frequenzstabilität vs. physikalischer Schwungmasse
- Überlegung zur „künstlichen“ Schwungmasse
- Rückgang rotierender Massen im System, Vergleich mit anderen Netzen
- Situation in Deutschland

## **VDE | FNN TAR's – Systemstabilität Verteilnetz**

- Anforderungen im Zeit- und Frequenzbereich nach den neuen FNN TAR's
- Statische und dynamische Anforderungen an Anlagen
- Statische und dynamische Anforderungen an das System
- Was ist jetzt eine Störung?

- Physik und Grundlagen unterschiedlicher Stabilitätsaspekte (Frequenz, Spannung, Blindleistung, Übergabeleistungen, Wechselwirkungsprozesse, Oberwellen, ...)
  - Beispiele aus der Verteilnetzebene
  - Messungen und Erläuterung von Fallbeispielen in unterschiedlichen Spannungsebenen, Industrienetzen
- 
- Anforderungen an das Systemmanagement von Verteilnetzen (rechtlich verbindliche Aspekte!)
  - Beiträge von Verteilnetzen zur Sicherstellung unterschiedlicher Stabilitätsaspekte
  - E-Fahrzeuge und deren Einfluss auf die Stabilität und das Systemverhalten
  - Regelungsaspekte für Anlagen und System – Schnittstellen zu Kundenanlagen, anderen Netzbetreibern, Arealen, Ladesäulen
  - Netzanschlussmanagement zur Umsetzung der Anforderungen

Grundsätzlich werden Aspekte und Erfahrungen aus Projekten vorgestellt und diskutiert. Umsetzungsbeispiele zeigen, wie Unternehmen diese Anforderungen meistern, damit im nächsten Schritt auch Aspekte „digitaler Systeme“ umsetzen können.

### **Kosten-Nutzen-Analyse in Bezug auf EMV und Power Quality in der Energiewirtschaft aus Sicht der Volkswirtschaft**

- Überblick zur Theorie der VGR, dem Verhalten von Unternehmen und Staat
  - Mikroökonomie (Produktionstheorie und Preistheorie)
  - Makroökonomie (Wohlfahrtstheorie und Allokationstheorie)
- Diskussion betriebswirtschaftliches versus volkswirtschaftliches Optimum (Maximierungskalkül)
- Mehrdimensionale Optimierung (Lagrange, Operations Research)
- Modellrechnung einer Kosten-Nutzen-Analyse als Teil der Entscheidungstheorie
- Monetisierung des Nutzens

### **Clusteranalyse im Power Quality Management**

- Einführung in die Theorie der Clusteranalyseverfahren (unvollständige, deterministisch, probabilistisch)
  - Überblick zu Clusterverfahren (explorativ und konfirmatorisch)
  - Modellprüfung und Validierung

- Das k-means-Verfahren
  - Algorithmus
  - Verfügbare Software
- Konzeptioneller Ansatz eines Power Quality Monitoring-Systems unter Einbeziehung von Clusterverfahren
- Big-Data und Clusteranalyse
- Power Quality Management

### **Charakterisierung der Ableitströme elektrischer Geräte zum Anschluss an das Niederspannungsnetz**

- Messaufbau und Messgenauigkeit
- Auswerteverfahren und -indizes
- Messergebnisse für Einzelgeräte
- Überlagerung mehrerer Geräte
- Schlussfolgerungen

### **Charakterisierung der Gleichstromemission durch elektrische Geräte für den Anschluss im Niederspannungsnetz**

- Theoretischer Hintergrund und Definitionen
- Messaufbau und Messmethodik
- Messergebnisse für Einzelgeräte
- Überlagerung mehrerer Geräte
- Schlussfolgerungen

### **Einfluss der Modellbildung auf die Genauigkeit von Oberschwingungssimulationen im Niederspannungsnetz**

- Simulationsumgebung und Methodik
- Einfluss der Modellierung des Netzes
- Einfluss der Modellierung der angeschlossenen Geräte bzw. Kunden
- Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## **Referenten**

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Ahndorf  
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
- Dipl.-Ing. Dipl.-Volksw. Gerd Dangrieß
- Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Michael Fette  
Fette – Competence in Energy GmbH
- Dr.-Ing. Lars Jessen  
Avacon Netz GmbH
- M. Meinke  
Meinke energy GmbH
- Dr.-Ing. J. Meyer  
TU Dresden
- Dipl.-Ing. F. Möller  
TU Dresden

## **Seminarleiter**

Prof. Dr.-Ing. W. Mombauer

## 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.

Das Seminar ist vom VDSI Verband Deutscher Sicherheitsingenieure e.V. als geeignet für die Weiterbildung von Sicherheitsfachkräften nach § 5 (3) ASiG eingestuft worden. Info: [www.vdsi.de](http://www.vdsi.de)

Die Teilnehmer erhalten auf der Teilnahmebescheinigung

VDSI-Punkte.  VDSI-PUNKT Umweltschutz  VDSI-PUNKTE Arbeitsschutz  VDSI-PUNKT Brandschutz

Für dieses Seminar kann eine Bildungsprämie beantragt werden.

Anmeldeformulare und Hinweise zur Bildungsprämie unter

<http://www.stz.hs-mannheim.de/aktuelles.html>

<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 9001:2015

---

» Zahlt sich aus: **Die Bildungsprämie**

---

Wir akzeptieren Prämiegutscheine!



**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 2020“ in Höhe von EUR 1700,00.  
Projekt-Nr.: 4528

**18. bis 20.2.2020,**

**18.2.2020 9.00 – 18.00 Uhr, 19.2.2020 8.00 – 18.00, 20.2.2020 8.00 – 16.00 Uhr**

**Hochschule Mannheim, Paul-Wittsack-Straße 10**

**Steinbeis-Transferzentrum an der Hochschule Mannheim**

**Anmeldung erbeten bis zum 10.2.2020**

---

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.

Zentrale: Steinbeis GmbH & Co. KG für Technologietransfer  
Registergericht Stuttgart, HRA 12 480 · Komplementär: Steinbeis-Verwaltungs-GmbH, Registergericht Stuttgart, HRB 18 715  
Geschäftsführer: Prof. Dr. Michael Auer (Vorsitz), Dipl.-Kfm. Manfred Mattulat

Ein Unternehmen der Steinbeis-Stiftung