

Untersuchung und Verbesserung der Spannungsqualität vor dem Hintergrund des Anstiegs an Photovoltaik, Elektrofahrzeugen, PV Batteriespeichersystemen und Power-to-Heat

Cornelius Biedermann

16. Symposium
Energieinnovation Graz

U-QUALITY

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



1 | Motivation

2 | Spannungsqualitätsaspekte

3 | Forschungsvorhaben

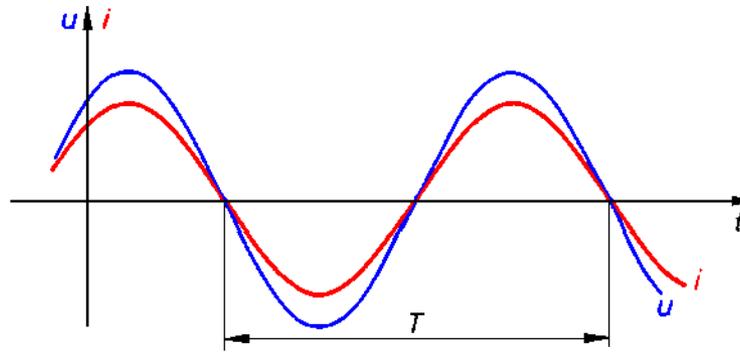
- Allgemeines
- Vorgehensweise
- Labormessungen, Feldmesskampagne
- Szenarientwicklung
- Simulation
- Regelverfahren
- Demonstrator tests
- Handlungsempfehlungen

4 | Erste Ergebnisse und Ausblick

Motivation

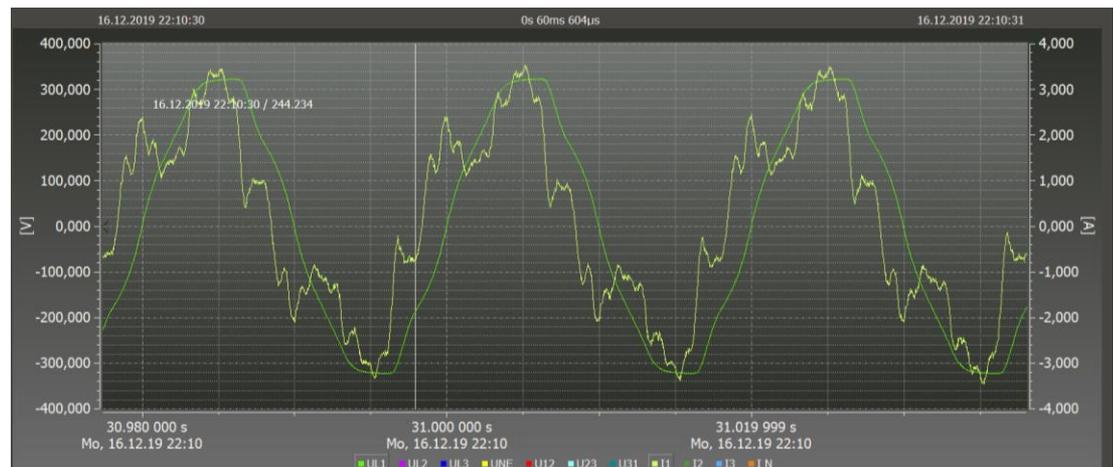
U und I im Niederspannungsnetz

Früher

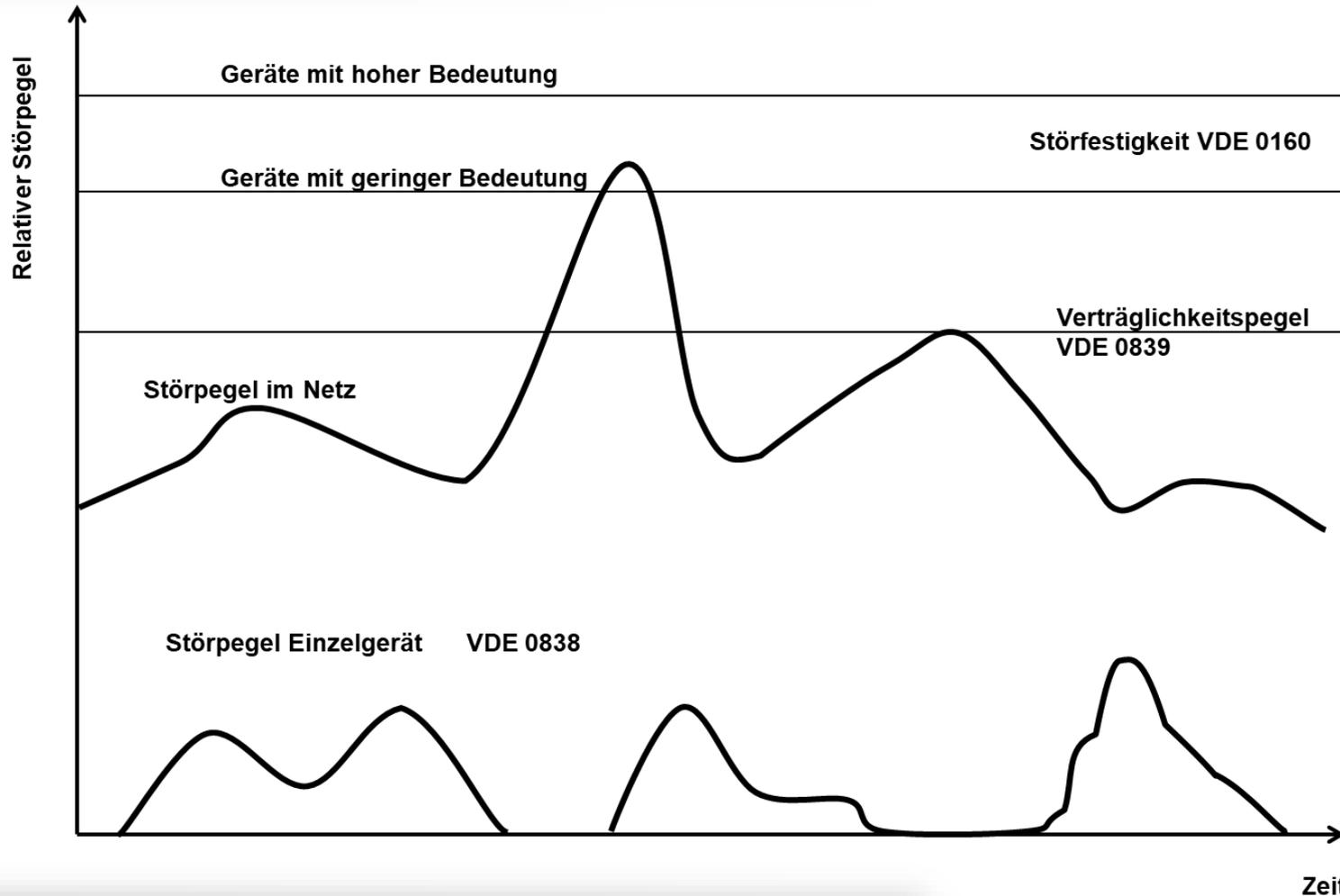


[Beckhoff]

Heute



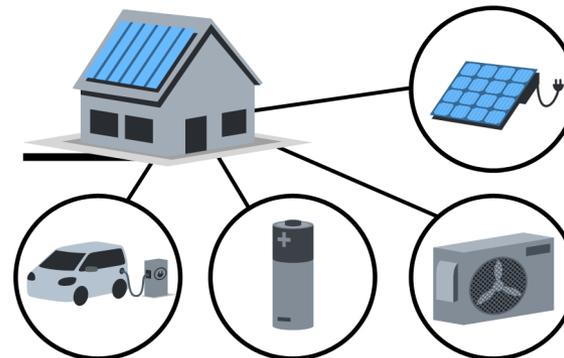
Motivation Pegel



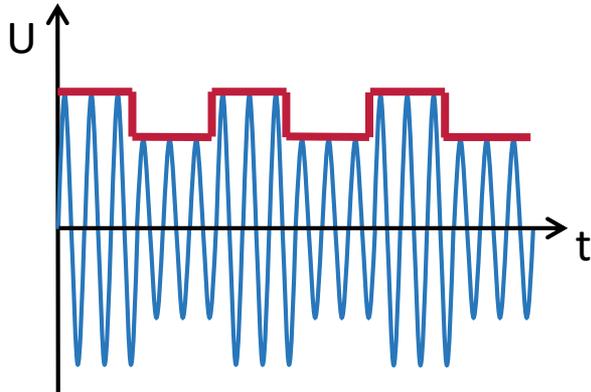
[nach
VDE 0839]

- Anschluss neuer Verbraucher und Erzeuger mit Leistungselektronik wie E-KfZ und Wechselrichter nimmt zu
- Spannungsqualität gewinnt durch die vermehrte Zahl von Leistungselektronik an Bedeutung
- Signalpegel in elektrischen Geräten werden reduziert, was die Stömpfindlichkeit der Geräte erhöht
- Netznutzung ist durch Passivhäuser, Wärmepumpen, E-KfZ und Wechselrichter verändert

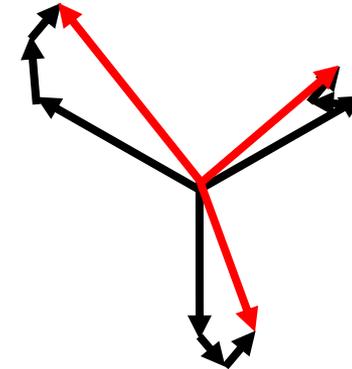
➔ Spannungsqualitätsprobleme?



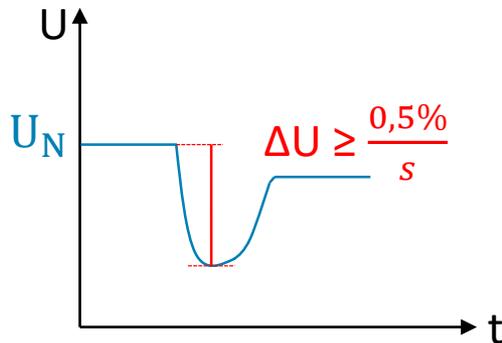
[Quelle: D. Blume, J. Schlabbach, T. Stephanblome, Spannungsqualität in elektrischen Netzen: Ursachen, Messung, Bewertung von Netzrückwirkungen und Verbesserung der Spannungsqualität]



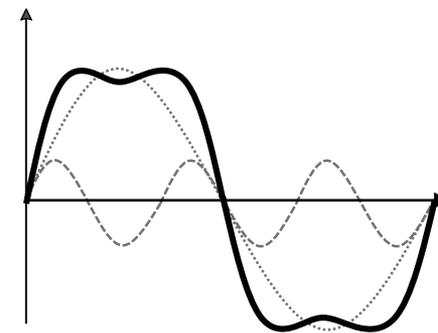
Flicker



Unsymmetrie



Schnelle Spannungsänderungen



Oberschwingungen

1 | Motivation

2 | Spannungsqualitätsaspekte

3 | Forschungsvorhaben

- Allgemeines
- Vorgehensweise
- Labormessungen, Feldmesskampagne
- Szenarienentwicklung
- Simulation
- Regelverfahren
- Demonstrator tests
- Handlungsempfehlungen

4 | Erste Ergebnisse und Ausblick

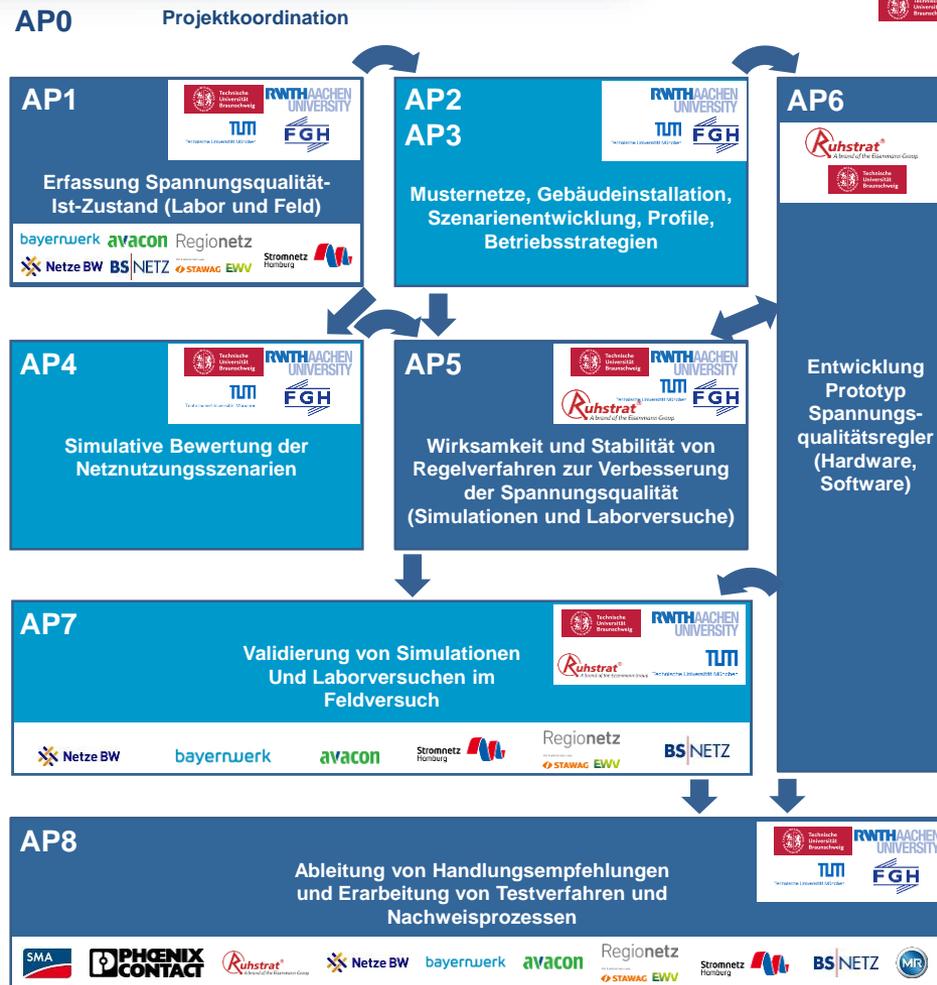
Vorstellung des Projekts

Struktur des Vorhabens



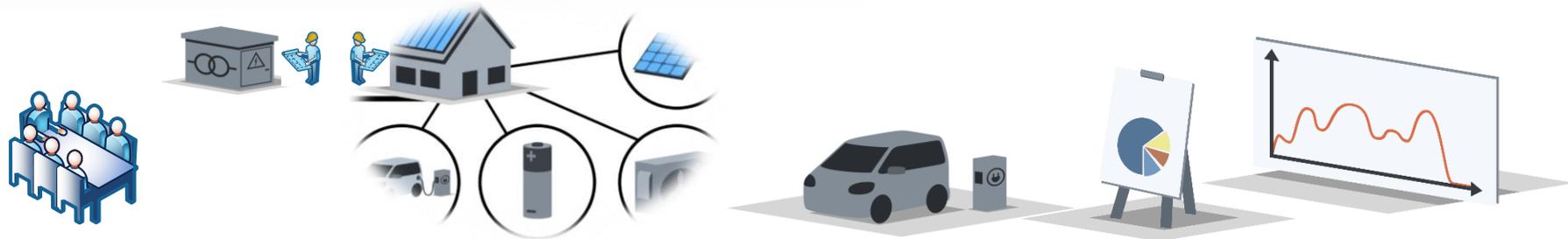
- **Projektlaufzeit:** 01.09.2019 – 31.08.2022
- **Feldmesskampagne**
 - Anfang des Projekts: Erfassung des Ist-Zustands
 - Später: Validierung in abschließenden Feldtests
- **Laborversuche**
 - Untersuchung der Regelverfahren
 - Implementierung von Regelverfahren auf Labor-Umrichtern
 - Test des entwickelten Spannungsqualitätsregler
- **Simulationen**
 - Bewertung der Einflüsse neuer Netznutzungsfälle
 - Untersuchung der Regelverfahren

Projektgliederung Planung



Forschungsvorhaben

Labormessungen, Feldmesskampagne



Auswahl von
Feldversuchsnetzen
und Vorbereitung

Durchführung der
Messkampagne im
Feld

Vermessung von
Einzelkomponenten
im Labor

Auswertung und
Weitergabe der
Messdaten

Ziele:

- Messtechnische **Erfassung des IST-Zustands** der Spannungsqualität im Feld
- Messtechnische **Erfassung von Spannungsqualitätsstörungen** durch Einzelkomponenten im Labor
- **Messtechnische Erfassung des Verhaltens** von Betriebsmitteln bei verminderter Spannungsqualität im Labor

Ergebnisse:

- **Verfahren und Bewertungsroutinen** zur Bestimmung der Netzbelastung **erarbeitet**
- **Messdaten** zur Modell- und Szenarienbildung **erfasst und ausgewertet**

Meilenstein

- Feld- und Labormesskampagnen zur Aufnahme der Ist-Situation abgeschlossen und ausgewertet

Forschungsvorhaben

Labormessungen, Feldmesskampagne

Übersicht der Schwerpunkte (nicht erschöpfend)

Vorbereitung

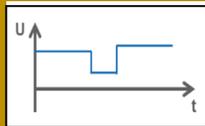
Feld

Labor

Auswertung



Schnelle
Spannungsänderungen



Anforderungen,
Bewertungs-
verfahren,
Untersuchungs-
rahmen

Verschiedene
Messpunkte
gleichzeitig

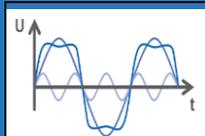
Vermessung von
Wechselrichtern

Diskussion und
Validierung

Beratend



Oberschwingungen



Anforderungen,
Bewertungs-
verfahren,
Untersuchungs-
rahmen

1x Messpunkt
gleichzeitig, 2-3
Messpunkte
insgesamt

Vermessung von
diversen Einzel-
komponenten

Konsolidieren der
Messdaten und
Datenaustausch

Diskussion und
Validierung



Unsymmetrie



Anforderungen,
Bewertungs-
verfahren,
Untersuchungs-
rahmen

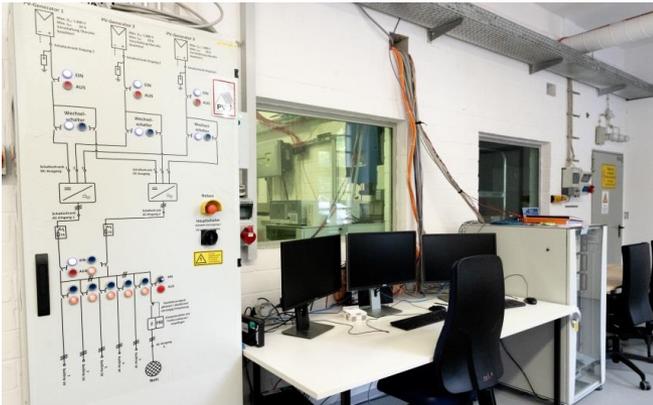
Nullleiter-
impedanzen,
Erdungen
(Mehrfach-
messungen)

Diskussion und
Validierung

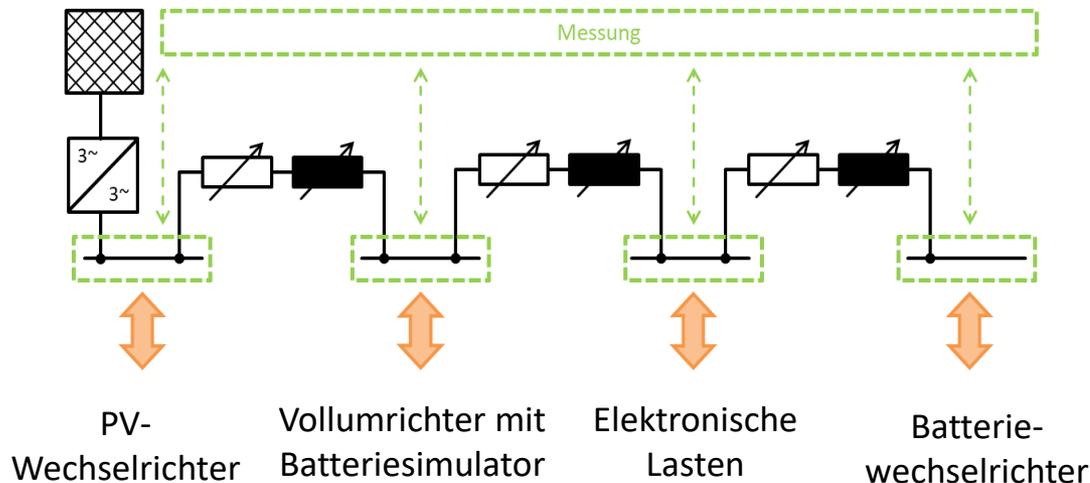


Technische Universität München

Forschungsvorhaben Labormessungen TU BS



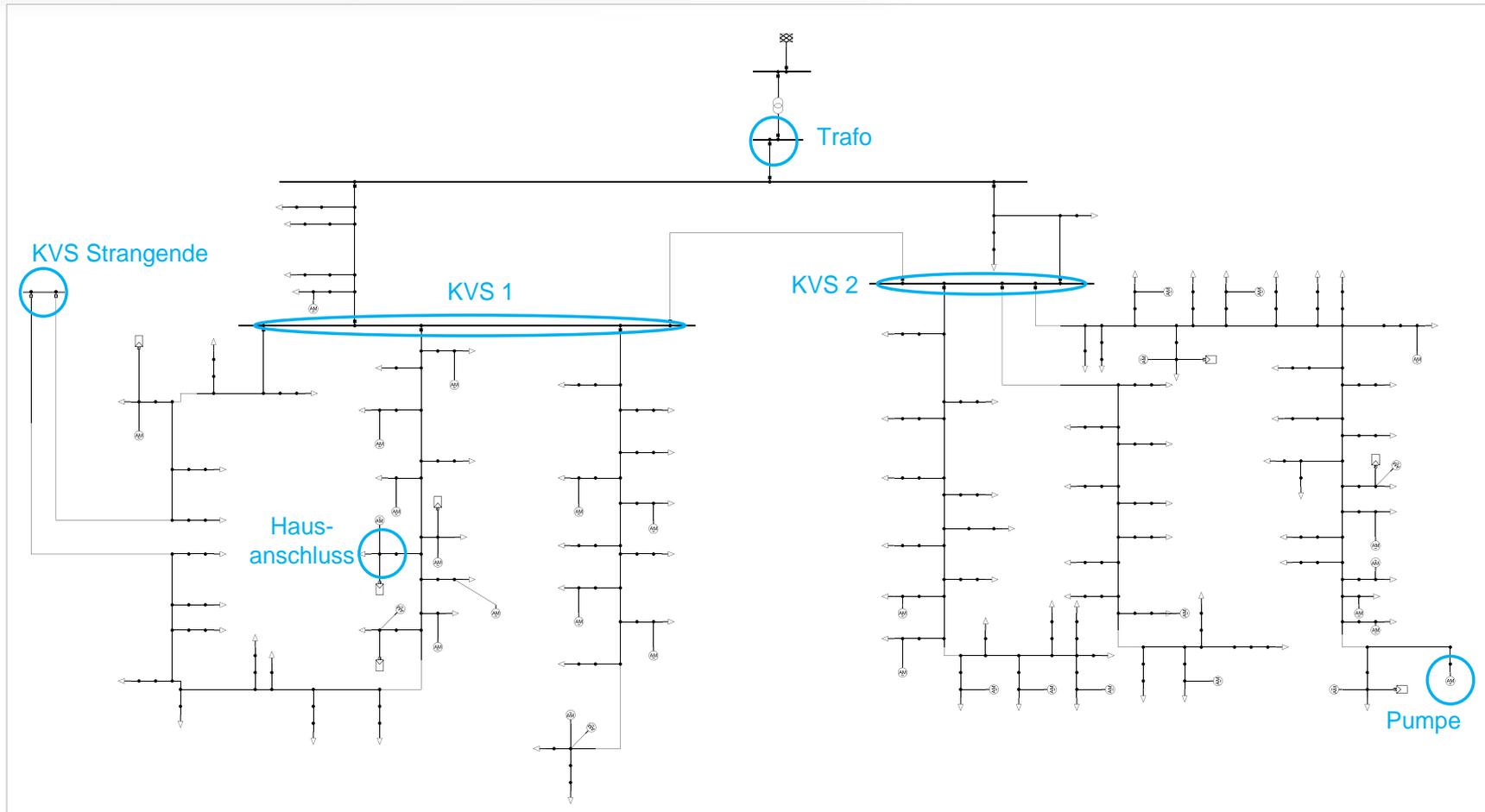
Netz-
simulator



- Netzdynamiklabor:
Netzsimulator und
Netznachbildung mit
Anschlussmöglichkeit diverser
Komponenten
- Um Auswirkungen
verminderter
Spannungsqualität zu
untersuchen
- Auswirkungen auf Regelungen,
wie $Q(U)$ und $P(U)$

Forschungsvorhaben

Feldmessung



Erweiterung der Musterversorgungsnetze

- Festlegung von Auswahlkriterien und Anzahl/Variation
- Erweiterung der Musternetze/des Musternetzgenerators auf 4 Leiter und frequenzabhängige Impedanzen

Modellierung der Gebäudeinstallation

- Umfassende Recherche zu Gebäudeinstallationen (Bestandsdaten, Befragung von Fachplanern, Normen, Planungsleitfäden)
- Erstellung von Modellen mit Anschlussmöglichkeiten für Geräte
- Möglichkeit zur einfachen Kopplung der Musternetze mit Gebäudenetzen

Definition eines Haushaltsgeräteparks mit Geräteprofilen

- Festlegung der Lastmodellierung
- Festlegung eines Ausgangsszenarios, Verteilung Geräteprofile -> Gebäudenetze

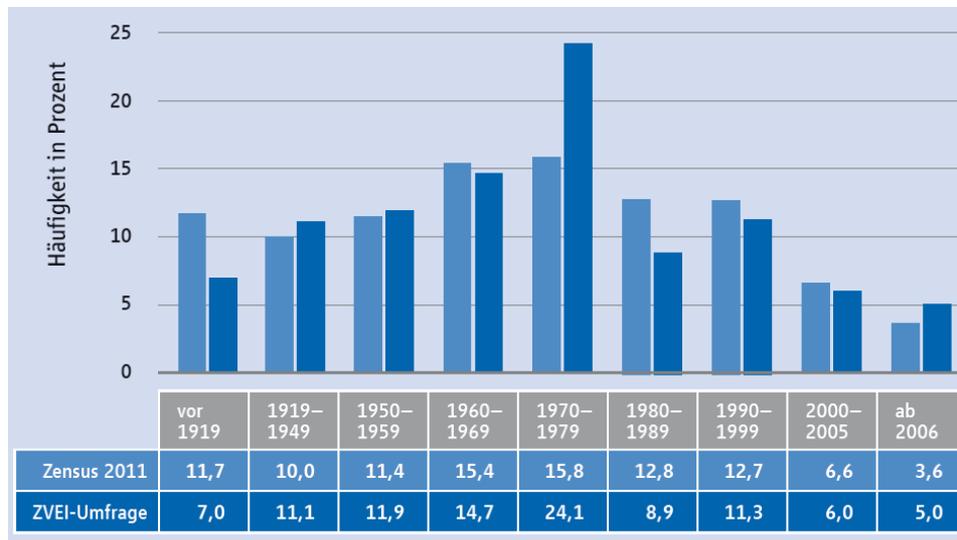
Ergebnisse:

- Frequenzabhängige 4-Leitermodelle der Musterversorgungsnetze
- 4-Leiternetzmodell vom Ortsnetztrafo bis zum Haushaltsgerät
- In der Softwareumgebung nutzbare Geräteprofile liegen vor

Bisherige Ergebnisse

Simulationsnetze

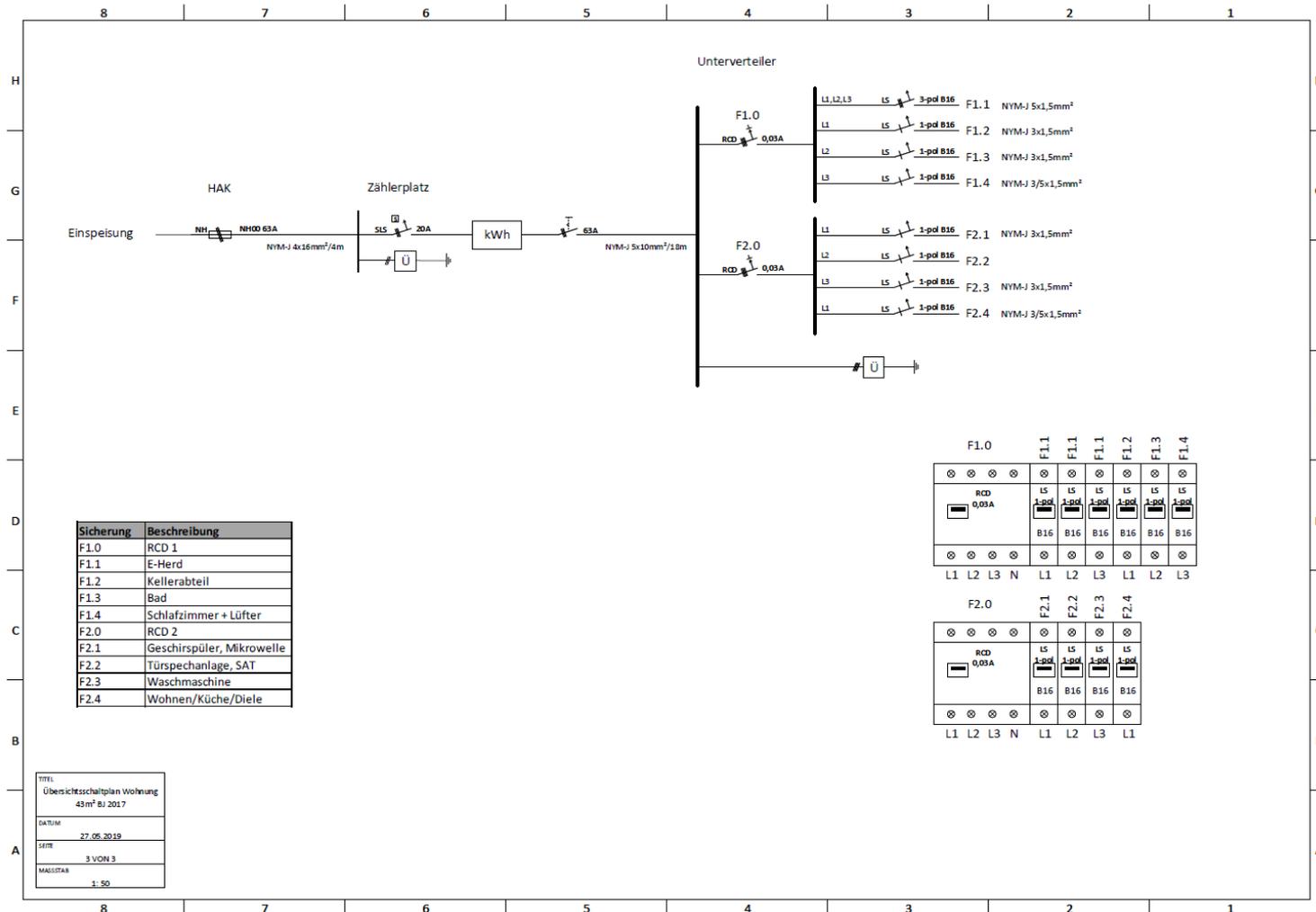
- Entwurf von 6 Wohnungsnetzen der Baujahre bis 1980 und 2017/8
 - 3 Gebäudetypen – 2 Zimmerwohnung, Reihenhaus, Einfamilienhaus
 - Befragung von tätigen Elektroinstallateuren
 - Grundlage für Dimensionierung der Sicherungen an Hausanschlüssen: DIN 18015 – 1/2/3 (Elektrische Anlagen in Wohngebäuden)
 - Basis für Jahreszahlen bildet die Kurzfassung des ZVEI



[Quelle: Kurzfassung des ZVEI zur Studie: Zustandserhebung elektrischer Anlagen für Gebäude, 2015]

Bisherige Ergebnisse

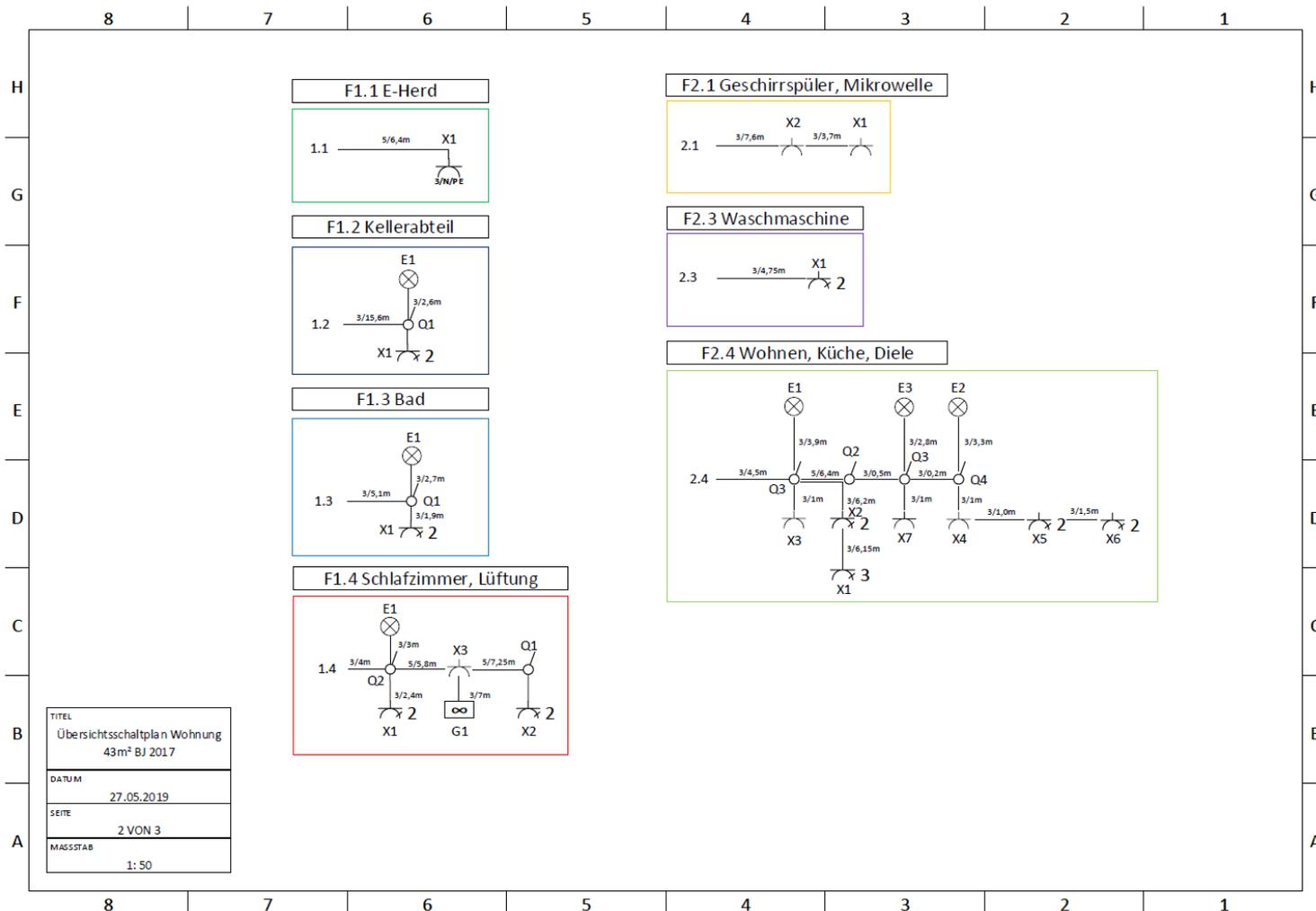
Simulationsnetze



[TUM]

Bisherige Ergebnisse

Simulationsnetze



[TUM]

Szenarioentwicklung

- Bestimmung der zukünftigen Entwicklung der Versorgungsaufgabe im Verteilnetz
- Bestimmung der zukünftigen Betriebsmitteldurchdringung und -strategien



- Skalierung und Verteilung in den Musternetze
- Zukünftige Kundenprofile und Durchdringungsszenarien
- Berücksichtigung relevanter Betriebsstrategien & Auswirkung auf Gleichzeitigkeitsfaktoren (GF)
- Auslegungsrelevante und repräsentative NNF

1
Durchdringungsszenarien
➤ Metastudie

09/2019
02/2020

2
Betriebsstrategien
➤ Lastprofile

03/2020
08/2020

3
Netznutzungsszenarien
➤ Musternetze

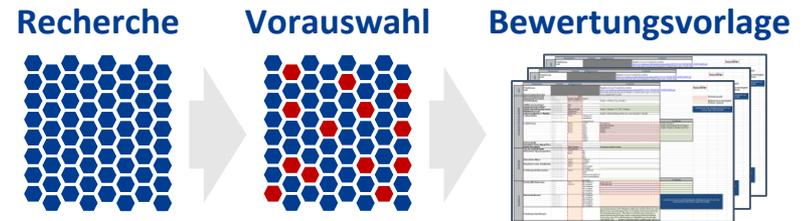
09/2020
02/2021

Forschungsvorhaben

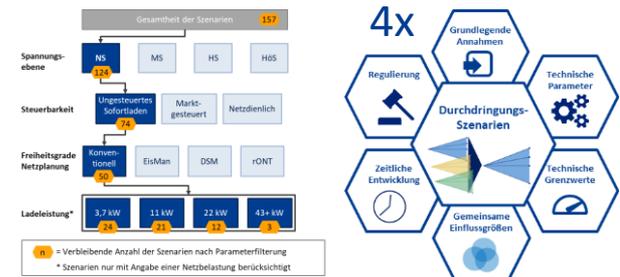
Durchdringungsszenarien

Metastudie – Vorgehensweise

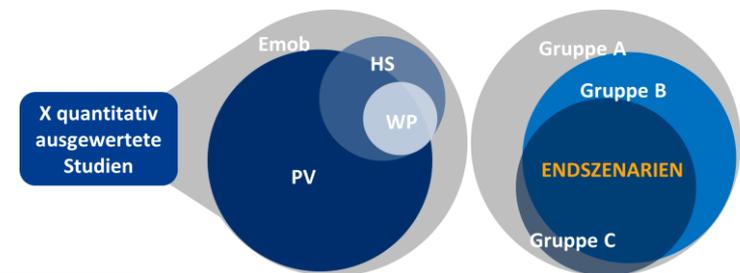
- 1)
- Recherche & Vorauswahl der Studien
 - Erstellung eines Analysesheet zur standardisierten Auswertung der Beiträge



- 2)
- Auswertung & Aggregation der Einzelanalysen
 - Analyse der Gesamtergebnisse hinsichtlich technischer Parameter, Korrelationen in den Szenarien & Grundannahmen



- 3)
- Präsentation der Ergebnisse & Gemeinsame Diskussion
 - Auswahl der Durchdringungsszenarien hinsichtlich Relevanz für die zu untersuchenden Spannungsqualitätsmerkmale

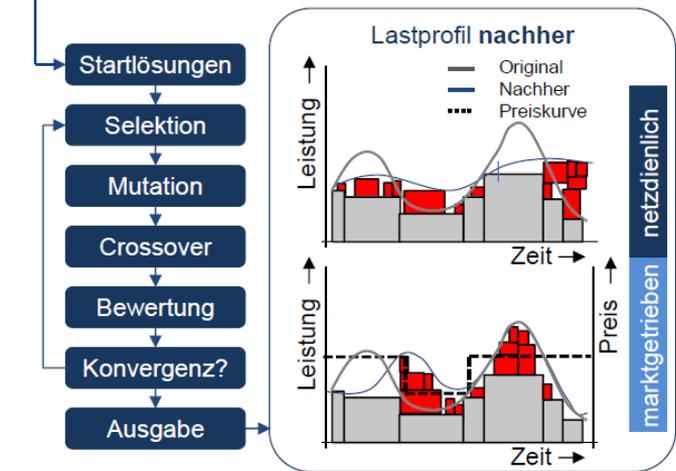
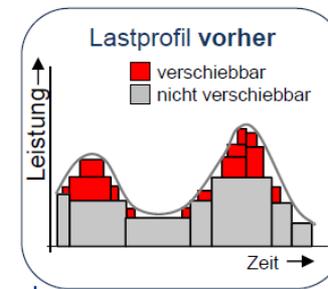


Gesteuerte Betriebsstrategien

Marktorientiert	Netzdienlich
 <ul style="list-style-type: none"> Ausnutzen individueller Flexibilitätspotentiale € Berücksichtigung von Marktpreisanreize Erhöhte Gleichzeitigkeit der Verbrauchsspitzen Skalierung berücksichtigt Kundenaffinität 	 <ul style="list-style-type: none"> Ausnutzen individueller Flexibilitätspotentiale Reduktion von Lastspitzen § 14 a EnWG (VDE-AR-N 4100) Reaktion auf Netzengpässe (iterativ)

● Diskussion & Analyse der grundlegenden Potentiale

● DSM Optimierung (metaheuristisch oder analytisch)



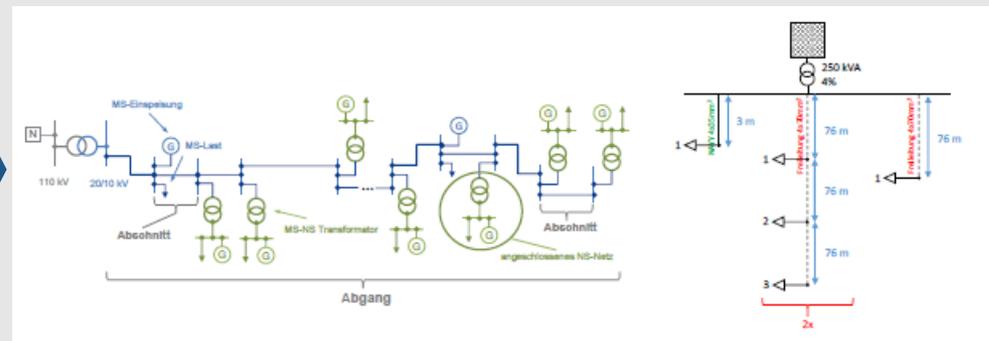
Forschungsvorhaben

Netznutzungsszenarien (NNS)

- Musternetze
- Geräteprofile

- Durchdringungsszenarien
- Geräteskalierung

- Betriebsstrategien
- LF Simulation Integration



Ziele:



1. Zuordnung von Geräten an dafür geeignete Netzknoten in den Musternetzen, basierend auf der angenommenen Durchdringungsszenarien
2. Skalierung der Leistung der Geräte und Abbildung der modellierten Betriebsstrategien
3. Festlegung der Netznutzungsszenarien für die folgenden Simulationen zur Untersuchung der Spannungsqualitätsmerkmale

Simulation zur Bewertung der neuen Netznutzungsszenarien auf die Spannungsqualität



Ziele:

- **Erweiterung oder Neuentwicklung** geeigneter **Simulationsansätze** zur Abbildung der Spannungsqualitätsmerkmale
- **Modellbildung und Parametrierung** des energie- und regelungstechnischen Teils der Netzelemente für Unsymmetrie, Oberschwingung und schnelle Spannungsänderungen
- **Simulation der Musternetze** und Szenarien aus Vorergebnis
- **Anwendung der Bewertungsmethoden** aus Vorarbeiten auf Simulationsergebnisse
- **Analyse und Bewertung der Durchdringungsszenarien** und Auswirkungen unterschiedlicher Netznutzungsfälle

Ergebnisse:

- **Auswirkung** zukünftiger Netznutzungsszenarien auf die **Spannungsqualität ermittelt und bewertet**

Meilenstein

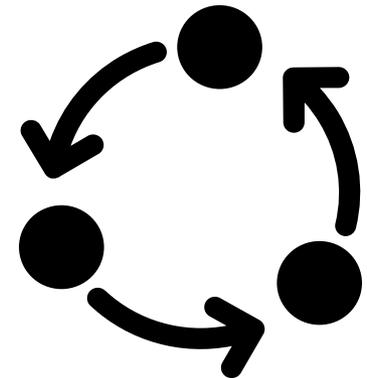
- Simulationsumgebung zur Untersuchung neuer Netznutzungsszenarien fertiggestellt

- Recherche und Potentialanalyse neuartiger Regelverfahren zur Verbesserung der Spannungsqualität
- Entwicklung eines Simulationsmodells des Prototyps
- Implementierung der Regelverfahren auf programmierbaren Vollumrichtern
- Test des Spannungsqualitätsreglers (mit Prototyp) im Labor sowie Validierung des Simulationsmodells
- Simulation zur Wirksamkeit des Spannungsqualitätsreglers in den Netznutzungsszenarien



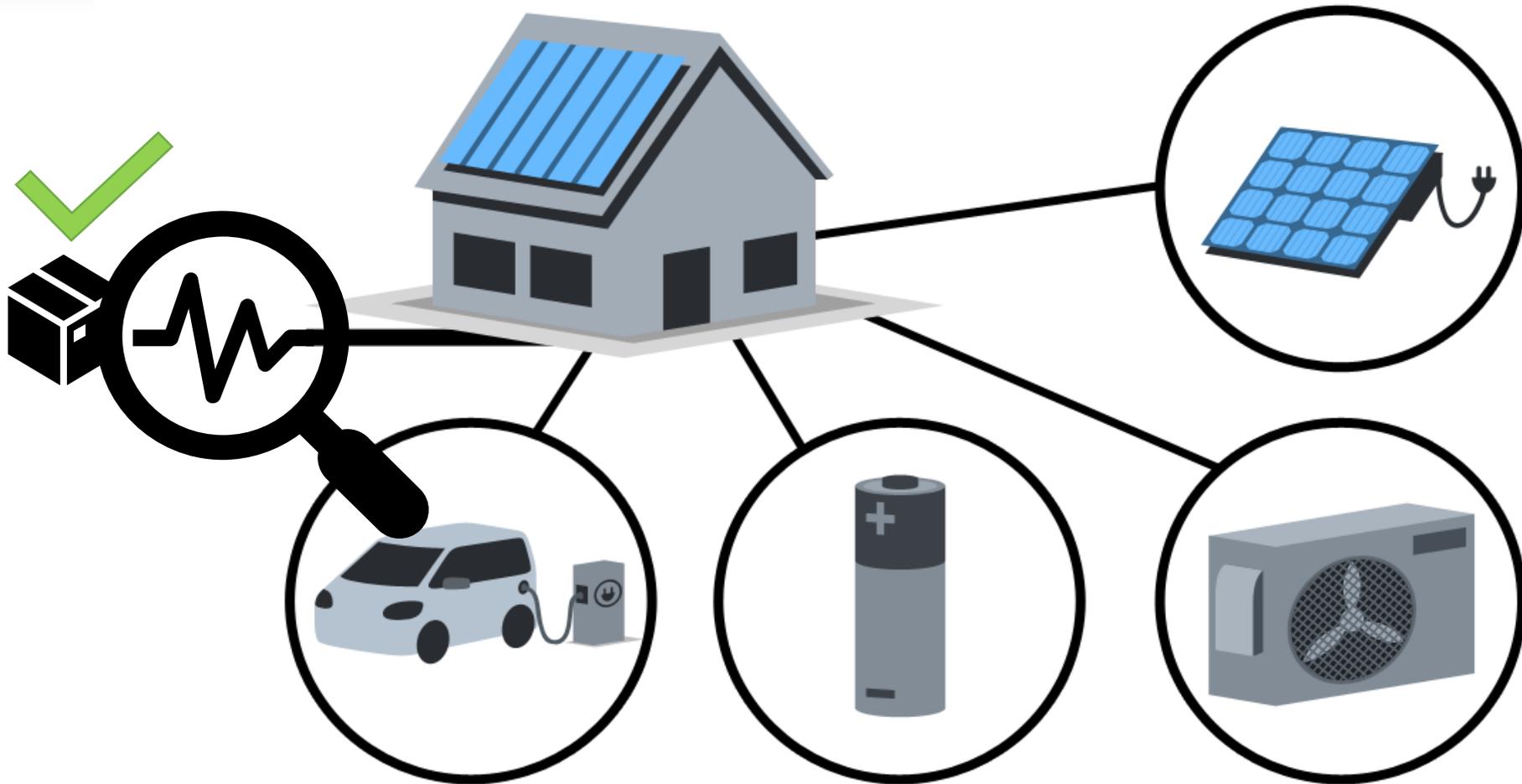
Ergebnisse:

- Ausgewählte Regelverfahren liegen vor und können modelliert werden
- Validierung der Steuerung im Labor
- Plausibilisierung des Gesamtmodells und der Regelverfahren
- Geprüfte Umsetzbarkeit/Interaktion mehrerer Regler, Funktionalität im Labor
- Betriebsgrenzen des Prototypen und Parametergrenzen des Simulationsmodells
- Simulationsergebnisse der Netznutzungsszenarien unter Einsatz des Spannungsqualitätsreglers
- Bewertung der Ergebnisse in Bezug auf Umsetzbarkeit, Wirksamkeit und Stabilität
- Zusammenführung und Bewertung der Ergebnisse
- Freigabe des Prototypen für Feldtests



Forschungsvorhaben

Demonstratorortest



Analyse aktueller Normen und technischen Richtlinien

- Analyse nationaler und internationaler Normen und technischer Richtlinien
- Vorgaben der netzdienlichen Betriebsmittel
- Analyse aktueller Entwicklungen
- Grenzwerte zur Spannungsqualitätsbewertung

Ableitung von Handlungsempfehlungen

- Ergebnisse aus Simulationen, Labor- und Feldversuchen im Hinblick auf die Fragestellungen des Projekts analysiert
- Aufbereitung der Erkenntnisse für Netzbetreiber, Hersteller, Gremien und Verbände
- Handlungsempfehlungen zur Einbindung in technische Richtlinien und Anschlussbedingungen

Entwicklung von Testverfahren und Nachweisprozessen

- Zusammenfassung der notwendigen Charakteristika von BM zur Verbesserung der identifizierten Spannungsqualitätsmerkmale
- Beschreibung des Prüfaufbaus, die Definition von Erfolgskriterien und die zulässigen Toleranzbereiche
- Entwicklung eines Nachweisprozess
- Exemplarische simulative und labortechnische Prüfung
- Nachweisprozess zur Prüfung der notwendigen Charakteristika

Zum mitnehmen...

Veröffentlichungen und weitere Informationen zu dem Forschungsprojekt gibt es auf

U-Quality.de

Auf geht's!

Vielen Dank an alle Zuhörer!



Technische Universität München

