

11. Symposium Energieinnovation

10. – 12. Februar 2010
TU Graz, Österreich



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

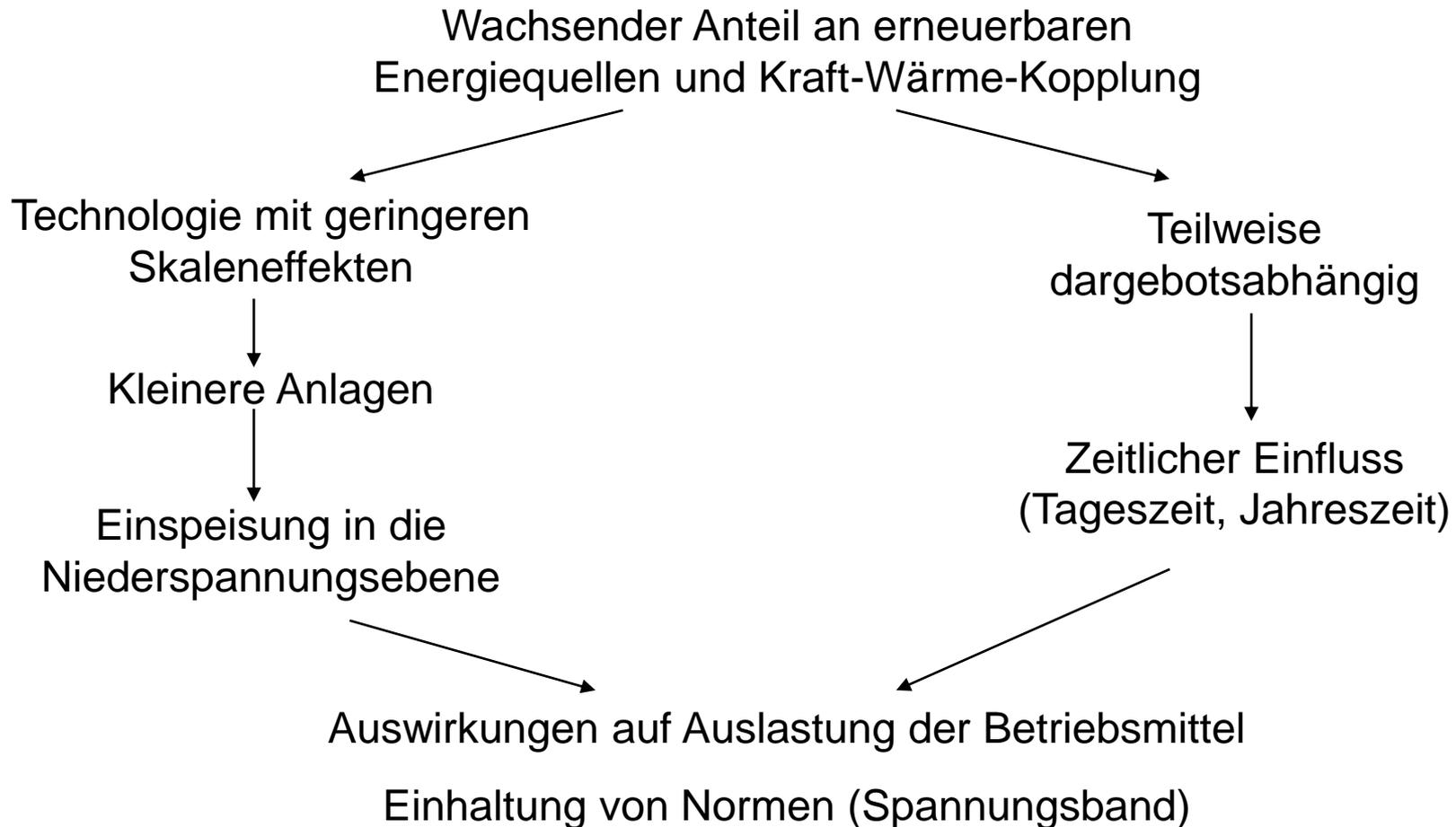
Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsnetzen mit wachsendem Anteil an dezentraler Einspeisung

Marc Eisenreich*¹, Gerd Balzer¹, Bernd Maurer²

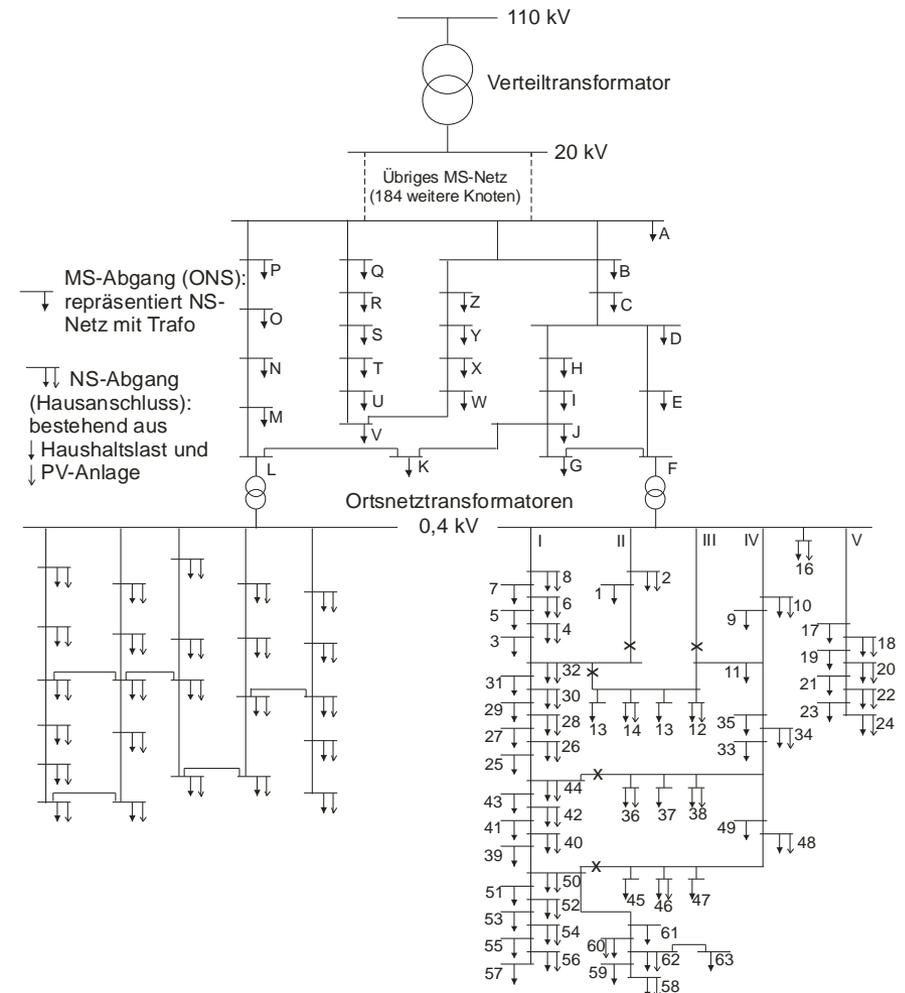
¹ Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektrische Energiesysteme
marc.eisenreich@eev.tu-darmstadt.de; gerd.balzer@eev.tu-darmstadt.de

² EnBW Regional AG, Technisches Anlagenmanagement, Technik Stromnetze
bernd.maurer@enbw.com

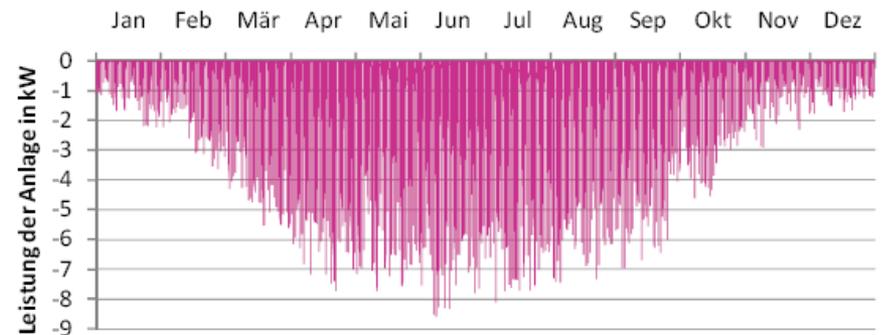
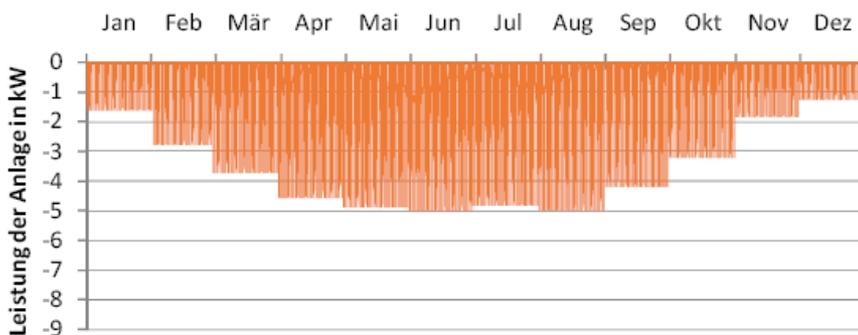
- Einführung
- Verwendete Modelle
 - Verteilnetz
 - PV-Anlagen
 - Haushaltslasten
 - Ortsnetzstationen
- Lastflussberechnungen
 - Leistungsflussumkehr und Betriebsmittelauslastung
 - Spannungsgrenzen je nach Betrachtung der MS-Ebene
- Zusammenfassung



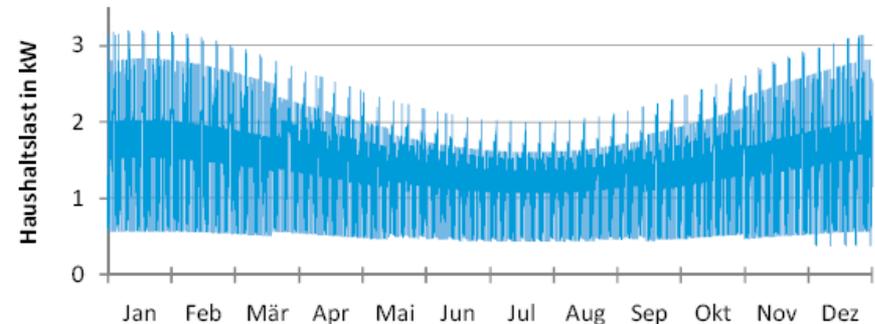
- Betrachtung eines kompletten Mittelspannungsnetzes (ab HS/MS-Trafo) im ländlichen Raum
- MS-Lasten: Ortsnetzstationen
 - Detaillierte Darstellung ausgewählter Niederspannungsnetze
 - Übrige NS-Netze als MS-Last aggregiert
- Hier: NS-Netz F
 - 63 Haushaltslasten
 - 1,5 km Leitungslänge (100% Kabel)
 - 400 kVA Transformator, S_{\max} 365 kVA
 - Vermaschte Topologie



- Abschätzung des Potenzials an PV-Einspeisung
 - Näherungsweise über Dachflächen (Satellitenfotos)
 - Annahme: 10 kWp an jedem zweiten Hausanschluss, Ertrag 900 kWh/(kWp-a)
- Einspeiseprofil des Verteilnetzbetreibers
 - zwölf verschiedene Tagesverläufe, normiert auf Jahresertrag
- Messwerte (ohne Gruppierung)
 - Globalstrahlungswerte per Sonnenstandsmodell auf Standort umgerechnet
 - Über Jahre gemittelt, 15% Systemverluste berücksichtigt
 - Individuelle Tagesverläufe, dadurch exaktere Abbildung der Lastspitzen



- Standardlastprofile (SLP) des VDEW von 1998
 - 9 Typtage nach Jahreszeit (Win, Som, Übg) und Wochentag (We, Sa, So)
 - Haushaltsprofil H0: zusätzlich individueller Korrekturfaktor für jeden Tag zwischen 1,25 (Win) und 0,75 (Som)
 - Normierung auf Jahresarbeit
 - Ausnutzungsgrad von 43%
- Anwendung auf Netz F
 - 63 Hausanschlüsse (identisch)
 - S_{\max} der Ortsnetzstation bekannt durch Schleppzeigermessung
 - Spitzenleistung auf Kundenebene: $S_{\max} / 63$
 - Leistungsfaktor konstant: 0,95 induktiv
 - Gleiche Lastkurve für alle Haushalte
 - Verdeckung der tatsächlichen Spitzenlasten der Haushalte
 - unproblematisch, da i. d. R. kein gleichzeitiges Auftreten

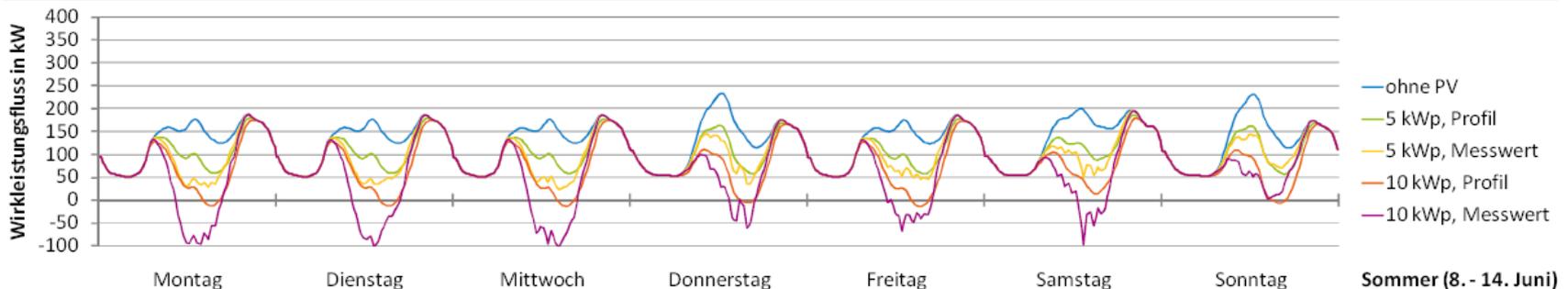
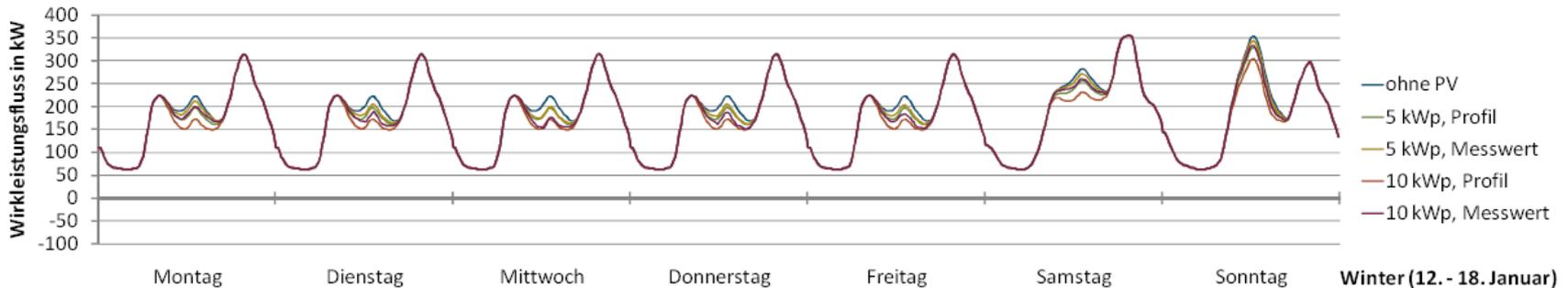


- Unterteilung der MS-Ebene
 - 26 Ortsnetzstationen (A-Z): Nachbildung als variable Last mit SLP und zusätzlicher PV-Einspeisung (wie auf NS-Ebene, nur aggregiert)
entspricht einem Ort mit 5.200 Einwohnern
 - übrige 184 ONS: konstante Last, keine zusätzliche PV-Einspeisung am Knoten
- Berücksichtigung von Gewerbelasten bei Anwendung der SLP
 - Identifizierung von Gewerbegebieten anhand der Bebauung (Satellitenfotos)
 - ONS im Eigentum des Kunden: 100% G0
 - ONS im Eigentum des Netzbetreibers: 75% G0 und 25% H0
- PV-Einspeisung
 - Annahme: 10 kWp pro zwei Hausanschlüsse; Ertrag 900 kWh/(kWp·a)
 - Ebenfalls Vergleich Einspeiseprofil vs. ungruppierte gemessene Daten

- Vorgehensweise
 - Simulation Lastfluss (LF) mit Lastprofil mittels kommerzieller Software
 - Simulationsdauer: ein Jahr, bestehend aus vier Jahreszeiten
 - Zeitliche Auflösung: 15 Minuten, d.h. insgesamt 35.040 LF-Berechnungen
 - Vergleich ohne vs. mit PV-Einspeisung (gemäß Annahme)
 - Darstellung der dritten Januarwoche und der zweiten Juniwoche
 - größte Last durch Haushalte bzw. größte Einspeisung durch PV-Anlagen
- Kriterien
 - Auslastung der Betriebsmittel
 - Bemessungsleistung S_r des Ortsnetztransformators
 - Maximaler Bemessungsstrom $I_r \max$ der (abgehenden) Kabel
 - Spannungsgrenzen
 - Spannungsband +/- 10% der Nennspannung U_n (400 V) am Hausanschluss

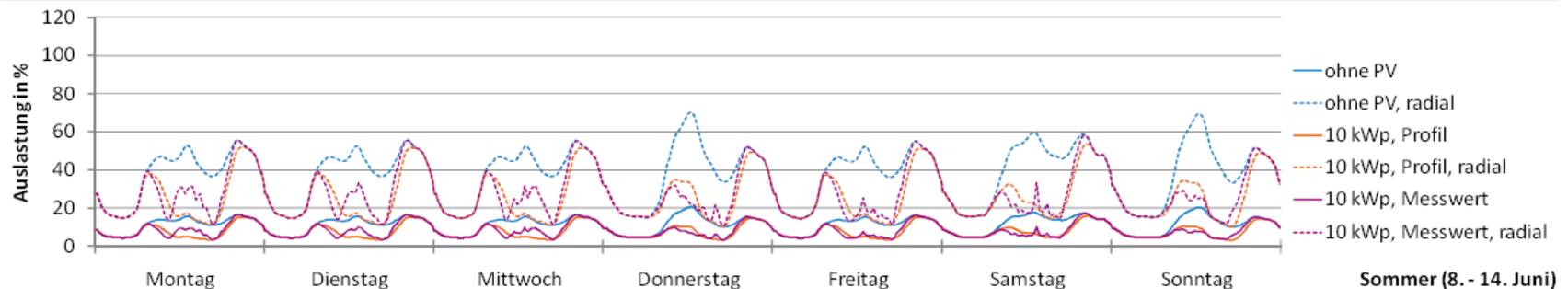
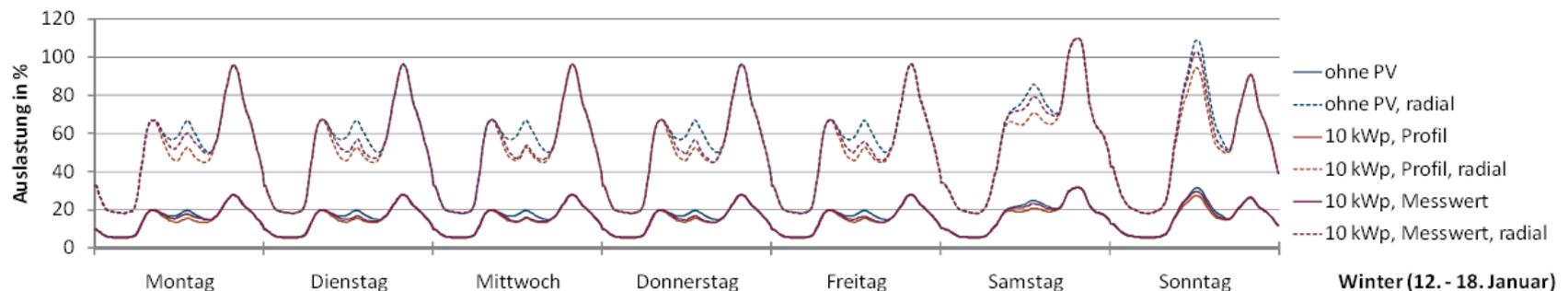
Leistungsflussumkehr

- Wirkleistungsfluss über den Ortsnetztransformator ins NS-Netz
 - Winter: höhere (pos.) Last, geringer Einfluss der PV-Anlagen am Nachmittag
 - Sommer: negative Last bei Maximaleinspeisung, aber stets unterhalb S_r
 - Unterschiede durch die Modellierung des Erzeugungsverlaufs
 - tatsächliche Spitzenwerte nahezu doppelt so groß wie Profilwerte



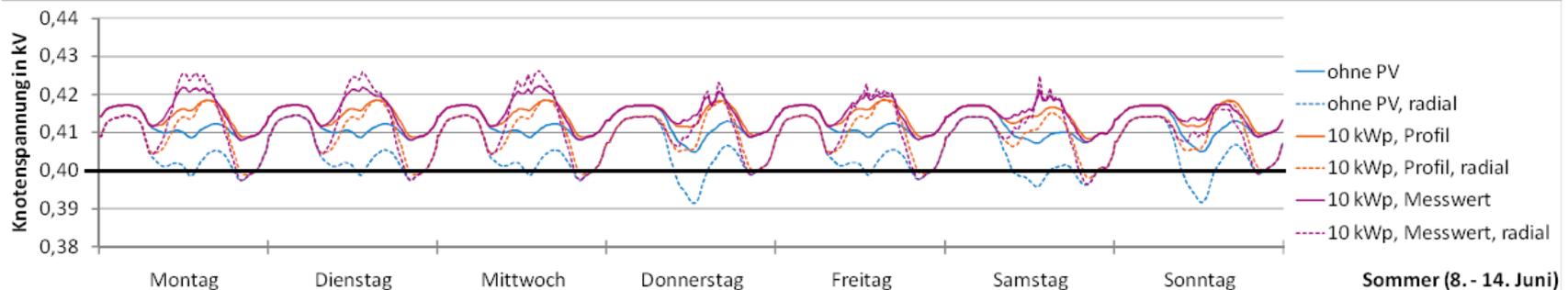
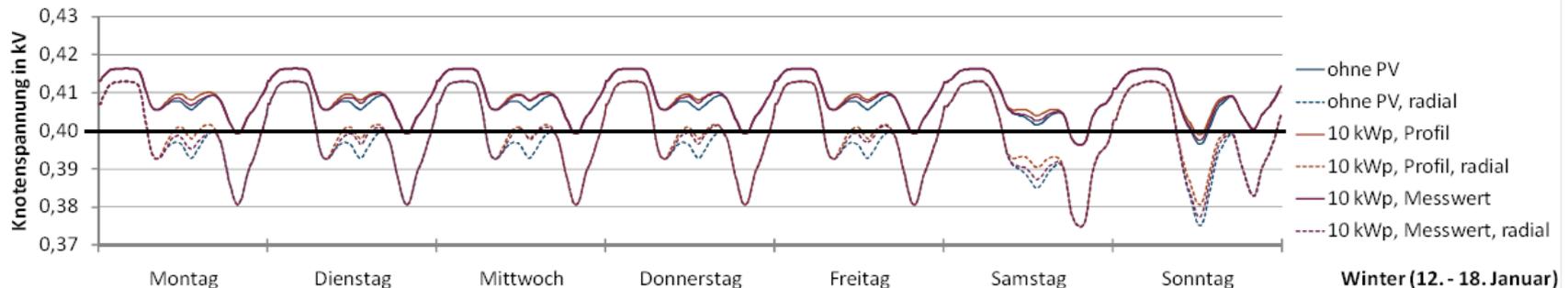
Betriebsmittelauslastung

- Auslastung der Leitung mit den meisten angeschlossenen Lasten (F-I)
 - Spitzenlast abends (außer Sonntag), daher nicht durch PV kompensierbar
 - Vermaschte Topologie → Auftrennung aller Maschen → radiale Betriebsweise
 - Winter: Lastspitzen (ohne PV) nahe oder knapp über 100%
 - Sommer: stärkerer Rückgang in der Tagesmitte durch PV-Einspeisung



Spannungsgrenzen MS-Ebene konstant

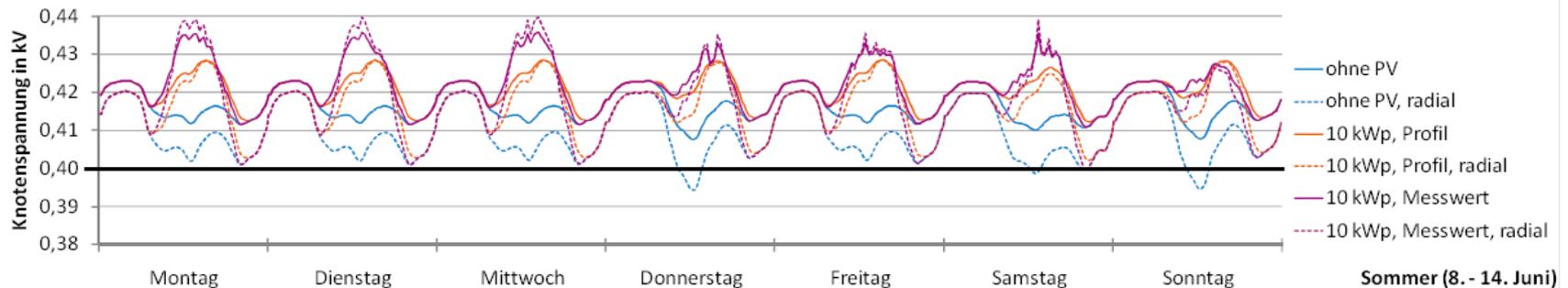
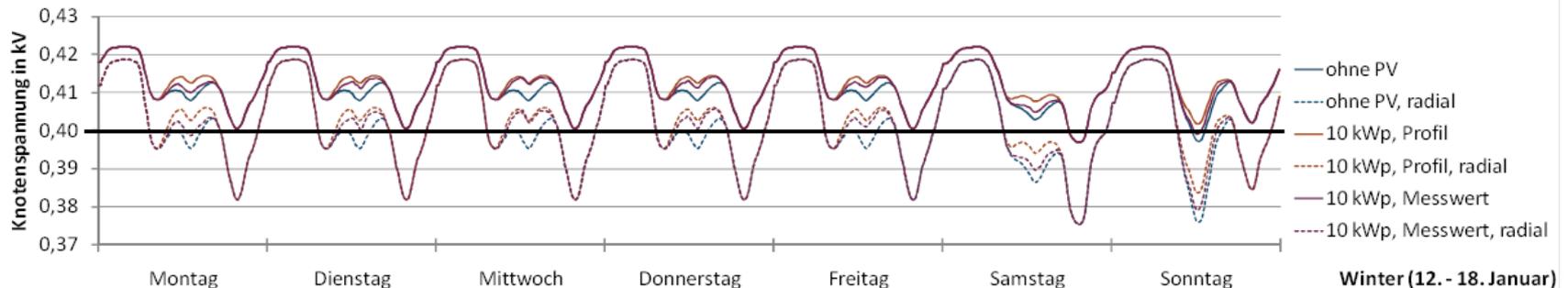
- Spannungsverlauf am Knoten mit größter Distanz (F-57)
 - Zunächst: Netz F isoliert, d.h. komplette MS-Ebene ohne SLP und PV
 - Winter: U_{\min} bei vermaschtem Netz 396 V, bei radialem Betrieb 374 V
 - Sommer (mit PV): Spannungserhöhung, so dass $U_{\max}(\text{Tag}) > U(\text{Nacht})$
 - Schwankungen bei radialem Betrieb größer als im vermaschten Netz



Spannungsgrenzen MS-Ebene zeitlich variabel



- Spannungsverlauf am Knoten mit größter Distanz (F-57)
 - Umliegende MS-Knoten mit Lastprofilen und PV-Einspeisung versehen
 - Spannungserhöhung: Verschieben und Strecken aller Kurven nach oben
 - Verstärkung der Auswirkungen durch PV-Einspeisung, besonders im Sommer
 - Dennoch: in jedem Fall Einhaltung des Spannungsbandes von 360 V bis 440 V



- Umkehr des Wirkleistungsflusses über den Ortsnetztransformator bei Ausnutzung des Potenzials für PV-Anlagen
- Verwendung möglichst genauer (=ungruppiertes) Daten für die PV-Einspeisung auf Grund der hohen Gleichzeitigkeit
- Verstärkung der Schwankungen der Spannungswerte in der NS-Ebene bei Modellierung der MS-Ebene mit Lastprofilen und Einspeisung
- Bedeutung der Netzwerktopologie bzw. Betriebsweise für die Einhaltung des Spannungsbandes, insbesondere am Ende längerer Leitungen: Vorzug für Querverbindungen (Maschen)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: **Marc Eisenreich** (Dipl.-Wirtsch.-Ing.)

Technische Universität Darmstadt
Institut für Elektrische Energiesysteme
Fachgebiet Elektrische Energieversorgung
Landgraf-Georg-Str. 4
64283 Darmstadt

Tel.: +49 6151 16 6587

Fax: +49 6151 16 4259

marc.eisenreich@eev.tu-darmstadt.de

www.eev.e-technik.tu-darmstadt.de