

Einsatz neuronaler Netze zur Kompensation von Kommunikationsausfällen im Speicherbetrieb

Lorenz Viernstein, M.Sc.

Graz, 16.02.2018

Motivation

Batteriespeicher zur Netzentlastung

- Multi-Use Ansatz für optimale Ausnutzung der vorhandenen Speicherkapazität
- Notwendigkeit von Kommunikationsanbindung
- Mangelnde Netzabdeckung im ländlichen Raum



<https://www.vodafone.de/hilfe/netzabdeckung.html>

- Aufbau paralleler Funkinfrastruktur
- Längere Ausfallzeiten
- Entwicklung einer robusten Rückfalllösung zur Sicherstellung der Netzentlastung

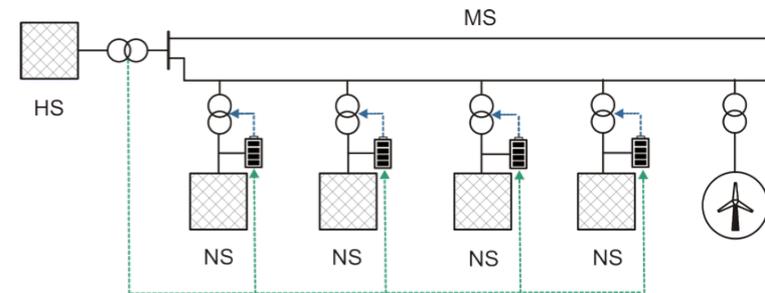
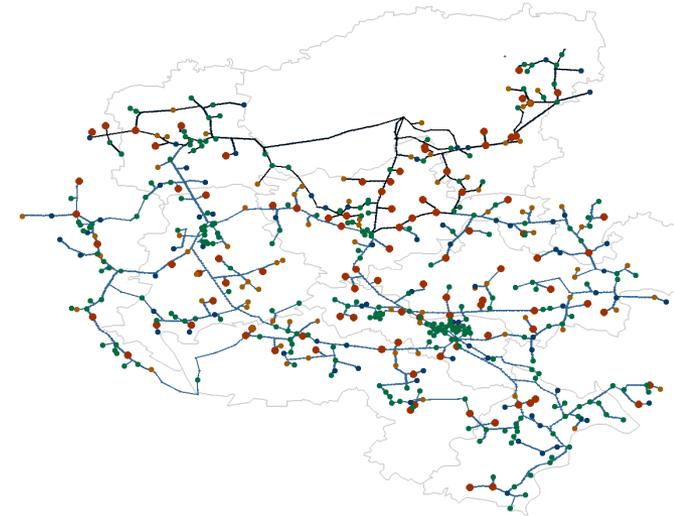
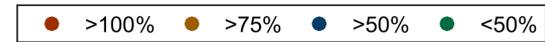
Untersuchter Anwendungsfall

Netzgebiet

- Mittelspannungsnetz mit ca. 400 unterlagerten Niederspannungsnetzen
- Entlastung der MS/NS- und des HS/MS-Transformators durch Batteriespeicher

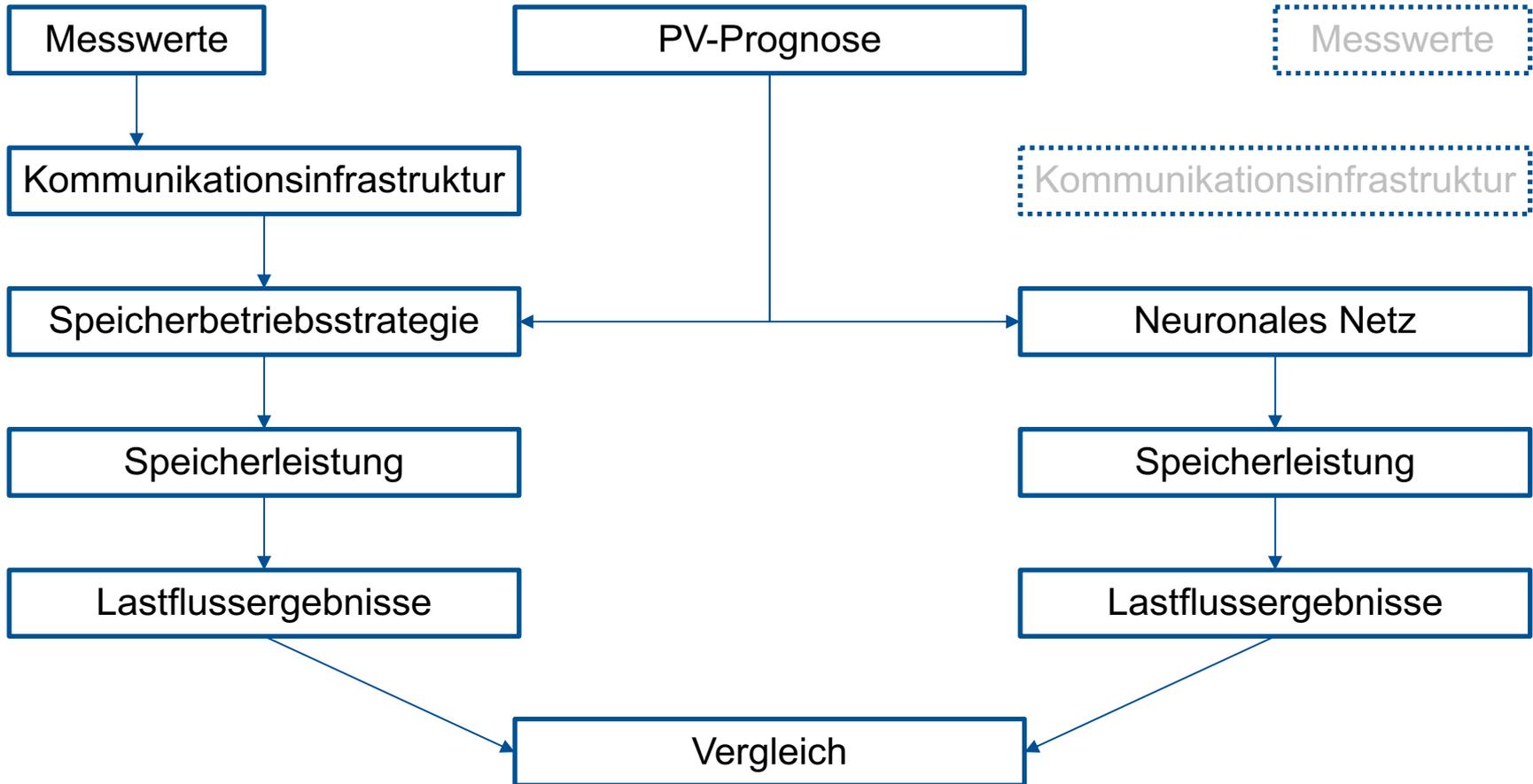
Kommunikationsstrecken

- HS/MS-Transformator → Speicher
- MS/NS-Transformator → Speicher



Kommunikation HS/MS zu BSS
 Kommunikation MS/NS zu BSS

Methodik



Untersuchter Zeitraum

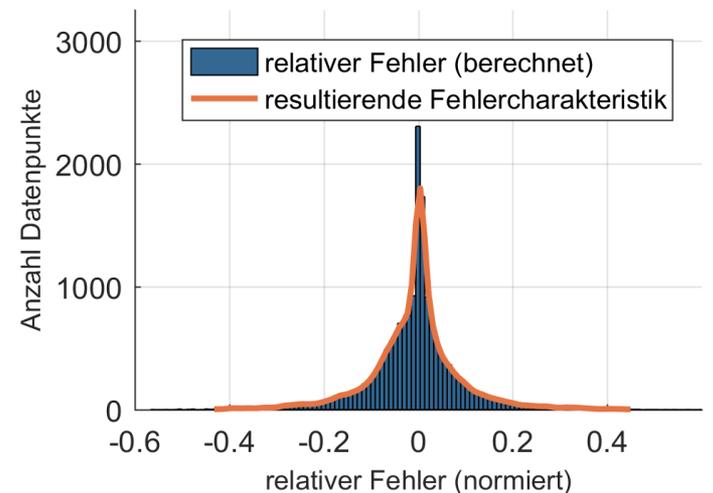
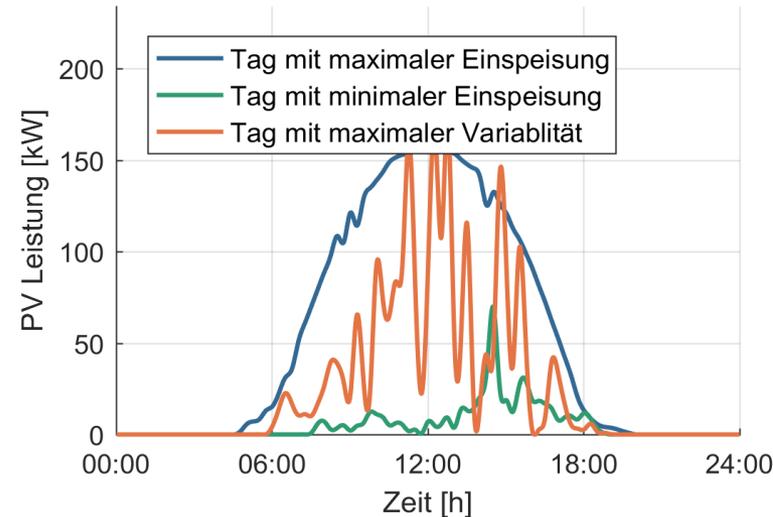
Charakteristische Tage

- Sommer/Winter/Übergangszeit
- Maximale Einspeisung/minimale Einspeisung/maximale Variabilität

Ausfall der Kommunikation um 01:00 Uhr

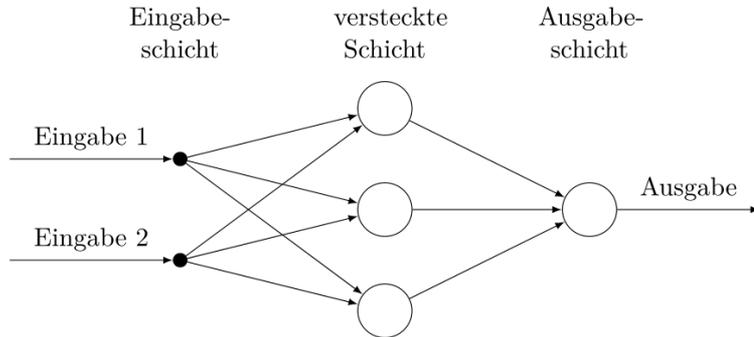
PV-Prognose

- Für verwendete Zeitreihen keine PV-Prognose vorhanden
- Konstruktion einer PV-Prognose auf Basis realer Messdaten und Fehlercharakteristik aus Analyse eines anderen Standortes



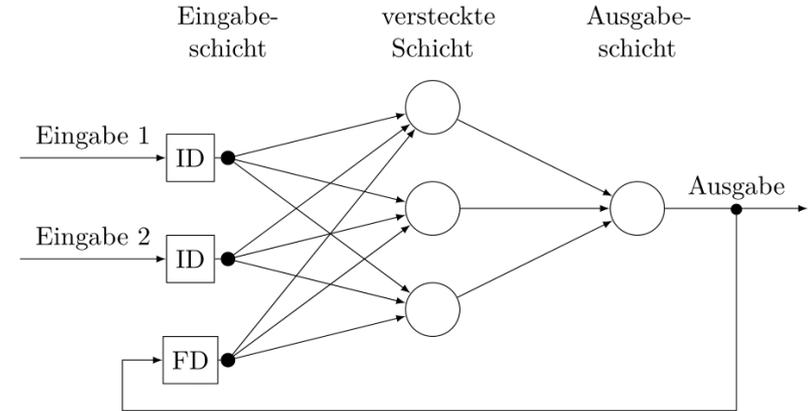
Verwendete Struktur

Feed-Forward-Struktur



- Nur vorwärts gerichtete Verbindungen
- Am Eingang liegt nur aktueller Zeitschritt an

NARX-Struktur



- Autoregressive Struktur
- Zusätzlich externer Eingang
- Einstellbare Verzögerung (Input-Delay/Feedback-Delay)

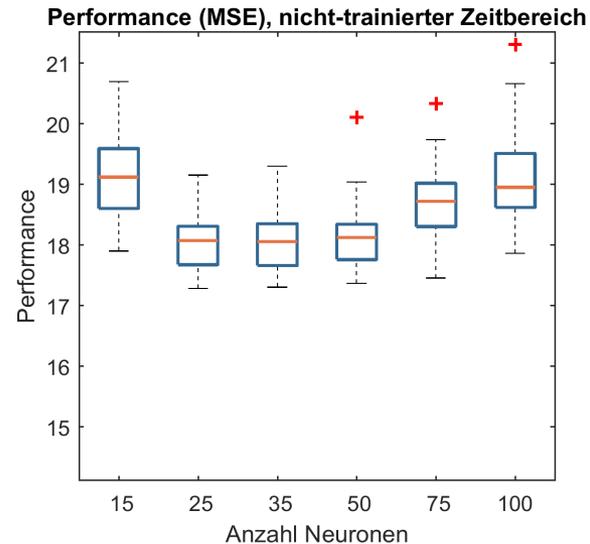
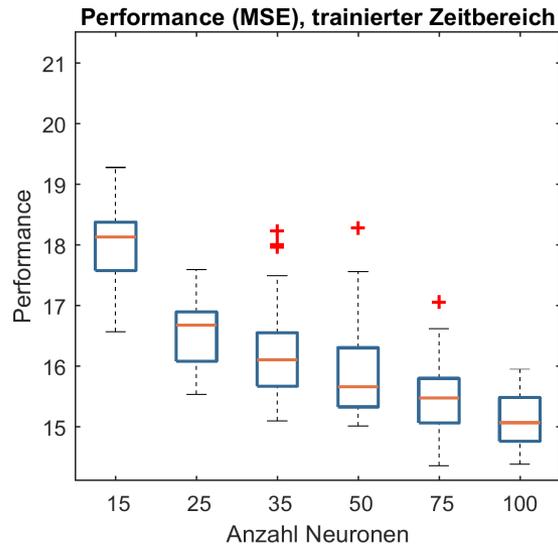
Einflussparameter

- Anzahl Neuronen
- Anzahl versteckter Schichten
- Eingänge
- Trainingsfunktion

Feed-Forward Struktur

Anzahl Neuronen

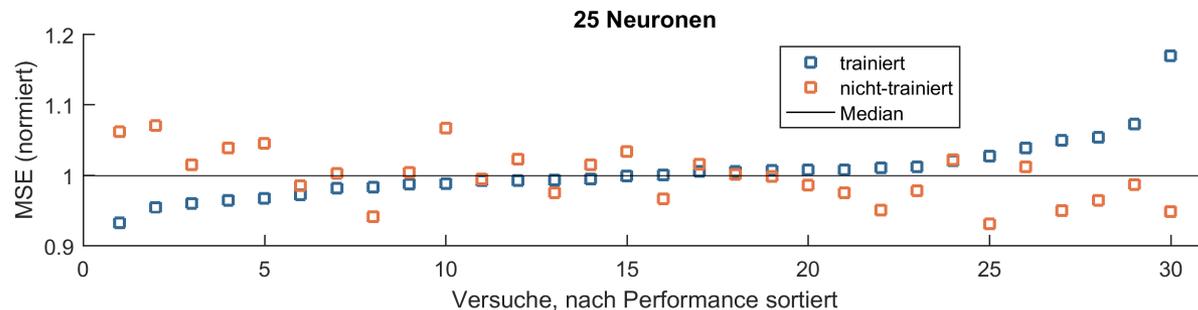
- Zu wenige Neuronen → mangelnde Lernfähigkeit
- Zu viele Neuronen → mangelnde Abstraktionsfähigkeit
- Eingänge: PV-Prognose, Sonnenauf-/Sonnenuntergangszeit, Nennleistungen
- Guter Mittelweg: 25 Neuronen



Feed-Forward Struktur

Auswahl der besten Realisierung

- Zufällige Initialisierung der Übergangsgewichte → jede Realisierung unterschiedlich
- Training von 30 Realisierungen mit identischen Trainingsdaten
- Wichtig: Performance im trainierten und nicht-trainierten Zeitraum
- Gute Ergebnisse: Auswahl des Netzes anhand des Medians der Performance



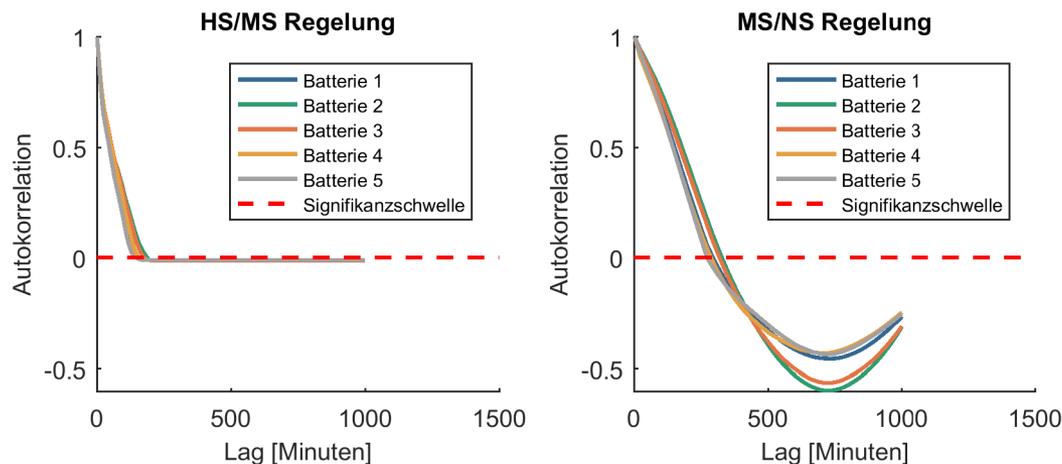
NARX-Struktur

Einfluss der Feedback-Delays

- Neuere Werte haben größeren Einfluss als ältere
- Zu viele Delays reduzieren die Trainingsgeschwindigkeit
- Berücksichtigter Zeithorizont: 60 Minuten

MS/NS Regelung: Wechselwirkung zwischen Laden Tag \leftrightarrow Entladen Nacht

HS/MS Regelung: Kurzfristige Zusammenhänge bei Netzentlastung



Ergebnisse Netzsimulation - Feed-Forward

Referenz

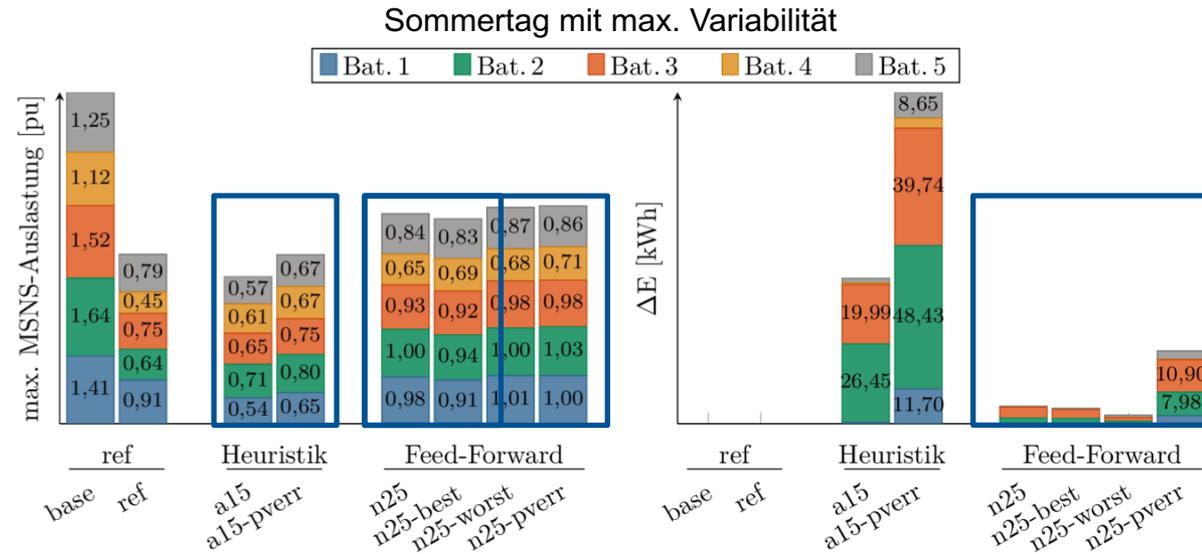
base: Ohne Batteriespeicher

ref: Kommunikation aktiv

Heuristik

ohne Kenntnis der Last

auf Basis der PV-Prognose

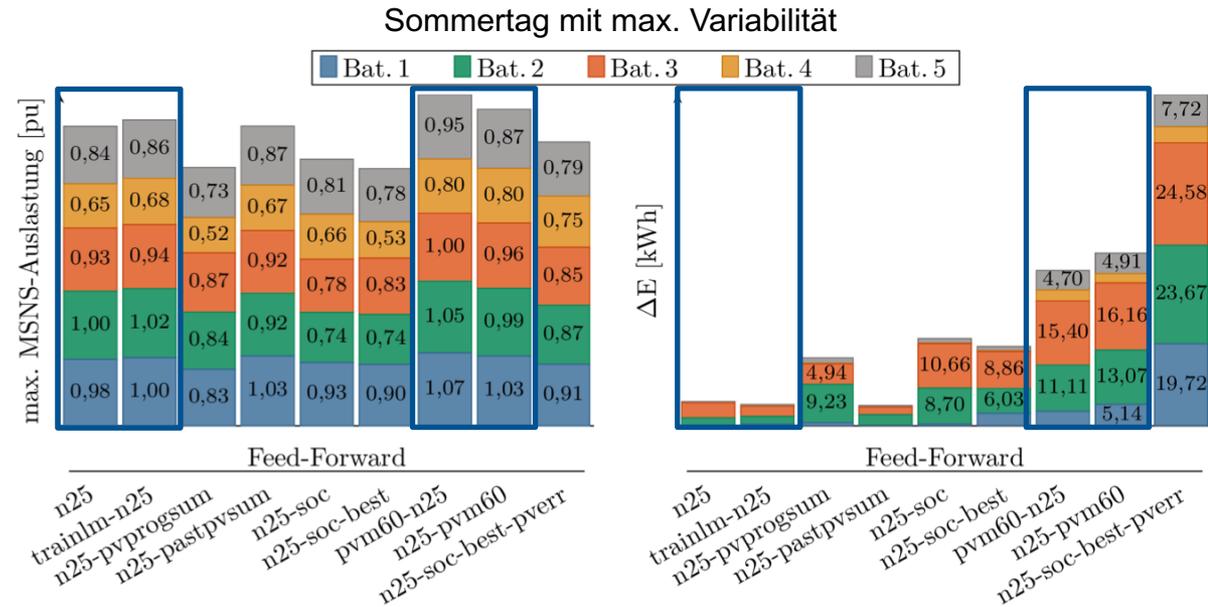


- Durch Vernachlässigung der Last zu hohe Entlastung durch Heuristik
- Gute Nachbildung der Betriebsstrategie durch neuronale Netze
- Gute Nachbildung des Lastverhaltens durch neuronale Netze
- Neuronale Netze unempfindlicher ggü. Prognosefehlern
 - Hinsichtlich Entlastung
 - Hinsichtlich zusätzlichem Energiebezug
 - Wichtig an Tagen mit hoher Einspeisung

Ergebnisse Netzsimulation - Feed-Forward

Varianten

- pvprogsun*: PV-Energie des Tages
- pastpvsum*: PV-Energie des Vortages
- soc*: mit Eingabe des aktuellen SOC
- pvm60-n25*: 60 min PV-Prognose
- n25-pvm60*: 60 min PV-Prognose (15 min Training)



- „Levenberg-Marquart“ Trainingsalgorithmus bringt keinen signifikanten Vorteil gegenüber „scaled-conjugate-gradient“ Algorithmus
- Neuronale Netze arbeiten auch mit geringerer Prognoseauflösung, darauf abgestimmtes Training verbessert die Ergebnisse jedoch

Ergebnisse Netzsimulation - NARX

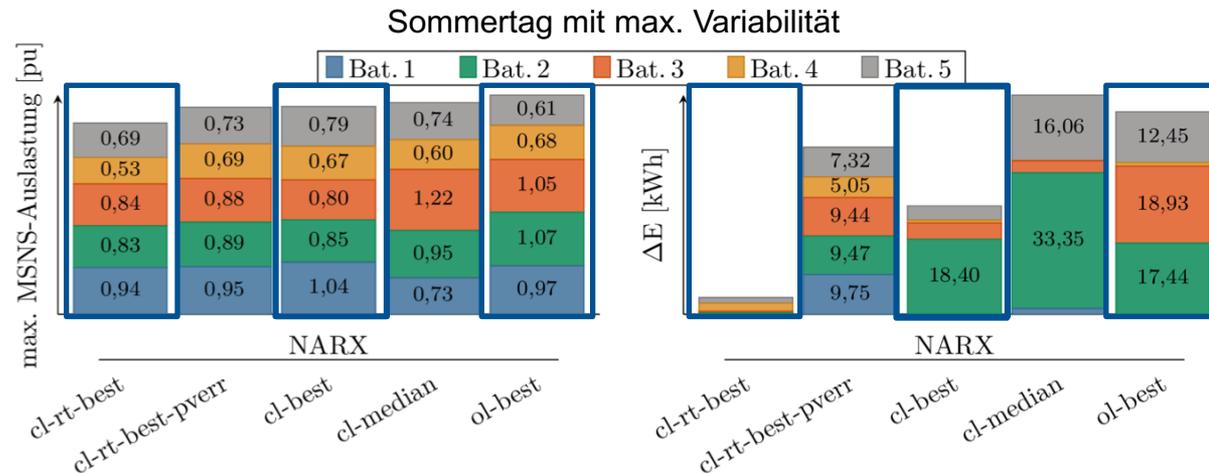
Varianten

rt: Nachtrainiert in closed-loop Form

pverr: mit PV-Prognosefehler

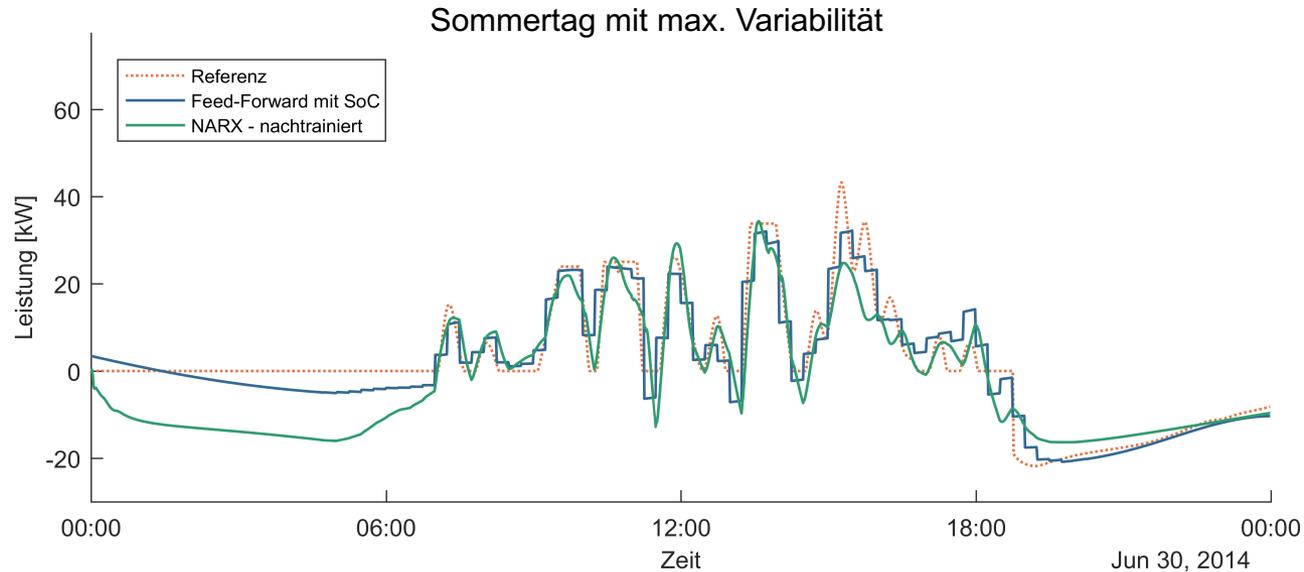
cl: closed-loop

ol: open-loop



- Closed-loop-Performance ausschlaggebend
- Nachtrainieren für bestes Ergebnis notwendig
- Für NARX-Netze Wahl des besten Netzes sinnvoll
- NARX-Netze robuster gegenüber Prognosefehlern

Ergebnisse Netzsimulation - Profilvergleich



- Allgemein gute Nachbildung des Verhaltens der Strategie
- Größere Abweichungen nachts
 - Fehlende PV-Prognosewerte
 - Regelung nur auf Basis von gelerntem Lastverhalten
 - Unkritisch für Netzbelastung

Fazit

Neuronale Netze stellen eine interessante Möglichkeit zur Kompensation von Kommunikationsausfällen dar

Anwendbar auf beliebige Reglerstrukturen → Jede Verbesserung der Betriebsstrategie kann auch durch neuronale Netze abgebildet werden

Feed-Forward-Netze: Robust gute Ergebnisse mit 25 Neuronen in einer versteckten Schicht

Für NARX-Netze: 25 Neuronen, 5 Feedback-Delays, ausgewählte Input-Delays

Weitere Arbeiten

- Einsatz von neuronalen Netzen als Prädiktor für Last und Nutzung der implementierten Betriebsstrategie
- Implementierung von Online-Learning
- Untersuchungen zur Generalisierbarkeit eines einmal erstellten Netzes

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Lorenz Viernstein
Professur für Elektrische Energieversorgungsnetze
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Technische Universität München

Lorenz.Viernstein@tum.de