

„Netzwiederaufbau im Übertragungsnetz“

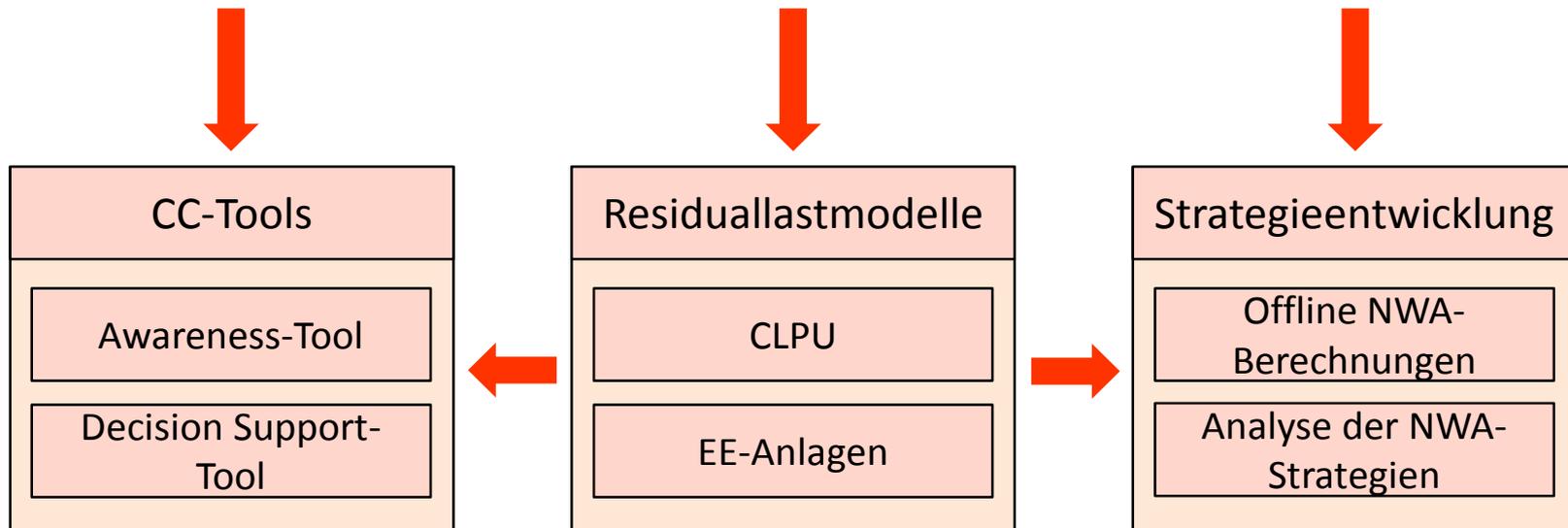
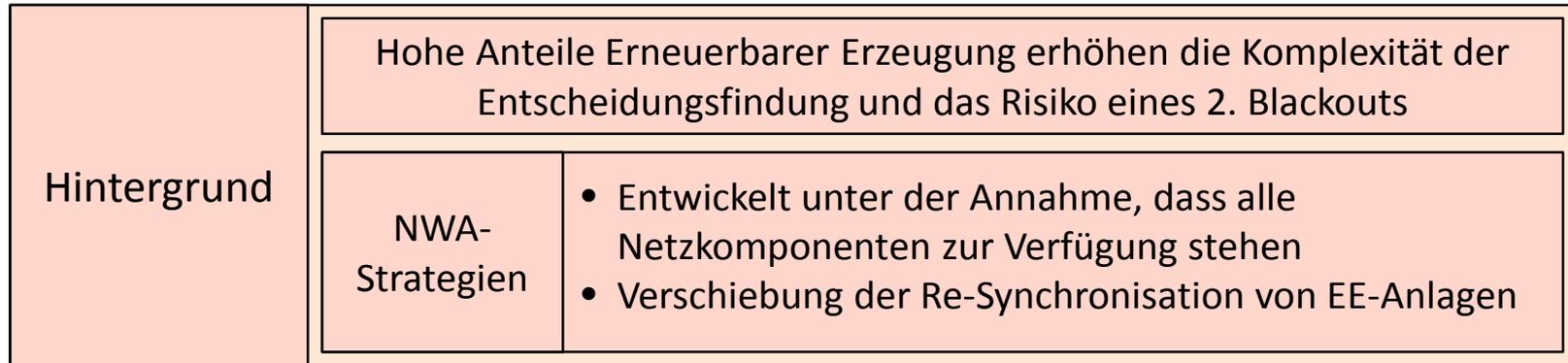
Workshop „Stabile Netze mit Erneuerbaren Energien“ 2018

Dr.-Ing. Hendrik Neumann
Amprion GmbH

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Wellßow
Technische Universität Kaiserslautern



Motivation

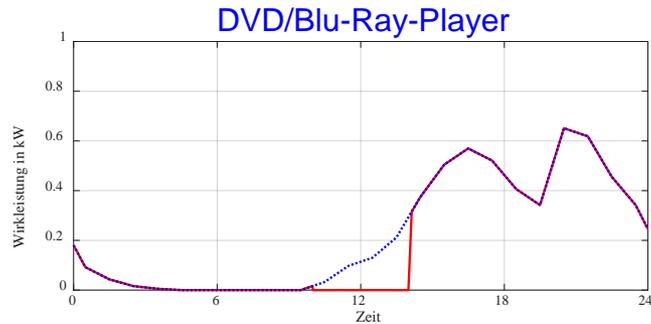


Lasten

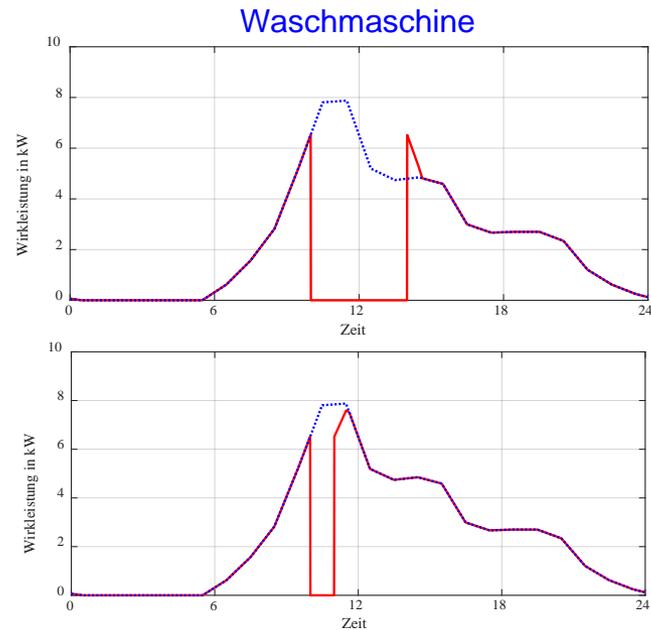
Haushaltlastmodelle

Nicht thermostatisch geregelte Lasten (NTGL)

Standby-Modus

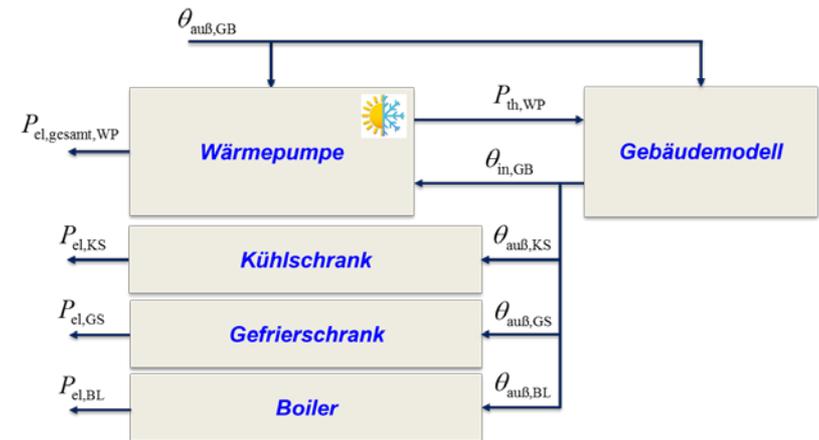


Auto-Kick-in



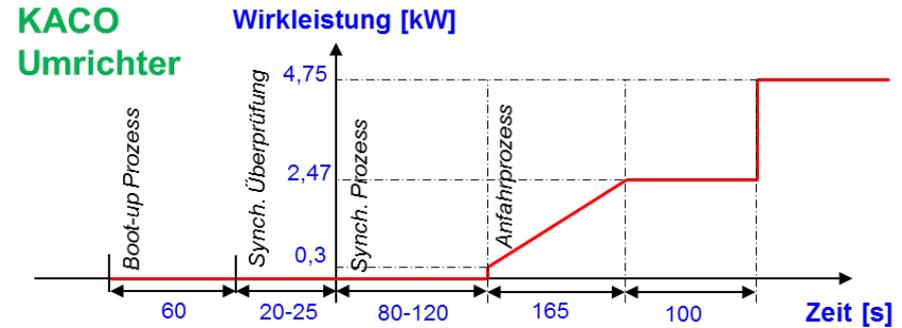
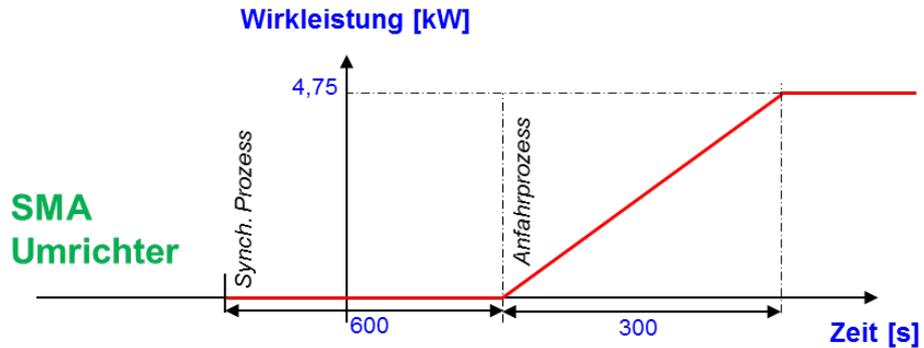
Thermostatisch geregelte Lasten (TGL)

- ❖ Außentemperatur
- ❖ Gebäudemodell
- ❖ Gerätemodell



EE-Anlagen

Labortest des Re-Synchronisationsverhaltens



Hersteller	S_r / U_r	Synchronisationsanforderungen			Leistungsgradient
		Spannung $u_{\min} - u_{\max}$	Frequenz $f_{\min} - f_{\max}$	Zeit zum Synch.	
	kVA / kV	p.u.	Hz	Sek.	kW/min
KACO	9 / 0,4	0,85-1,10	48,5 – 50,05	160 - 205	0,79
SMA	9 / 0,4	0,85-1,10	48,5 – 50,05	600	0,95

Residuallastmodelle

Bedingungen:

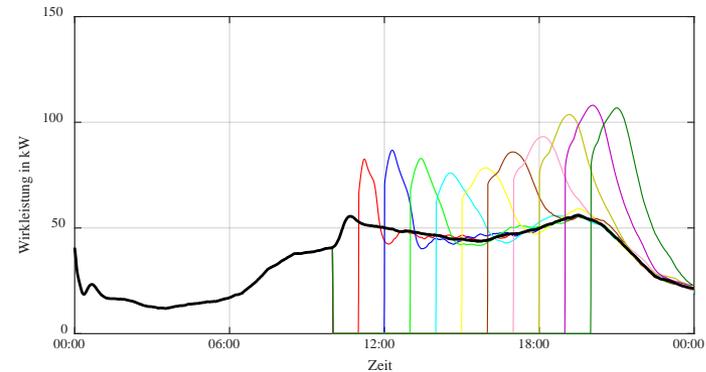
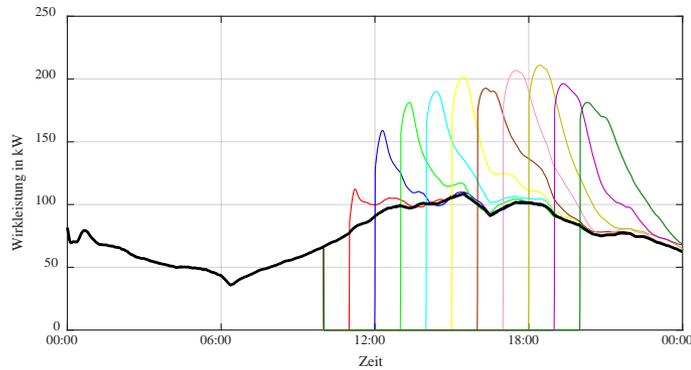
100 Haushalte, PV-Kapazität von 2 kW pro Haushalt

Versorgungsunterbrechung um 10:00 Uhr, 100 Monte-Carlo-Iterationen

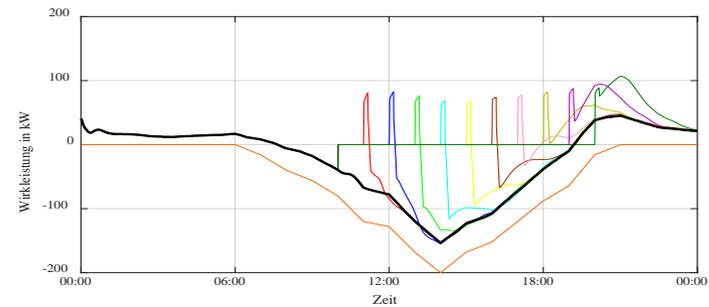
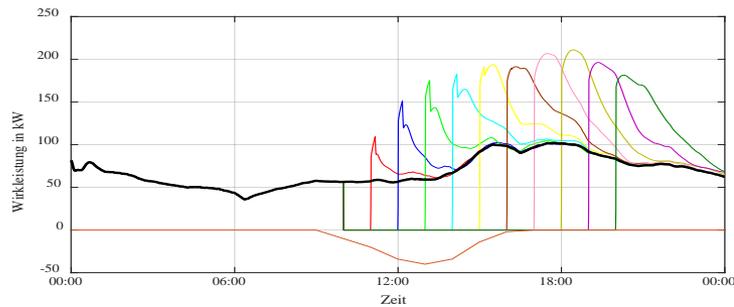
Sonntag, 16. Januar 2022

Sonntag, 14. August 2022

Ohne PV-Erzeugung

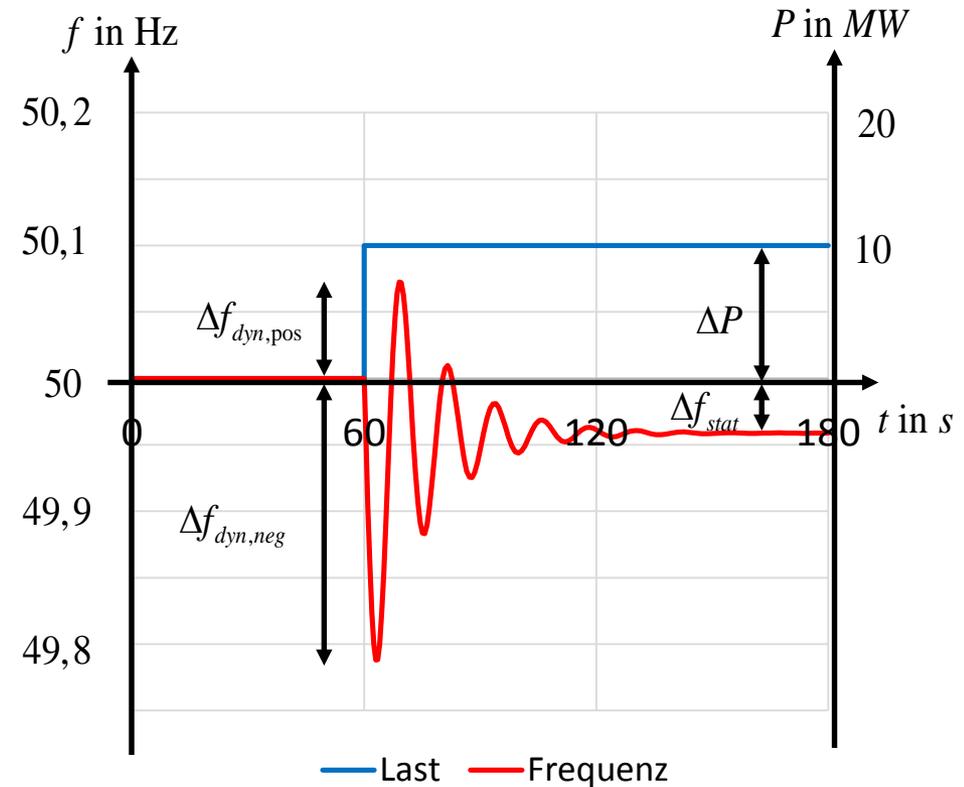


mit PV-Erzeugung



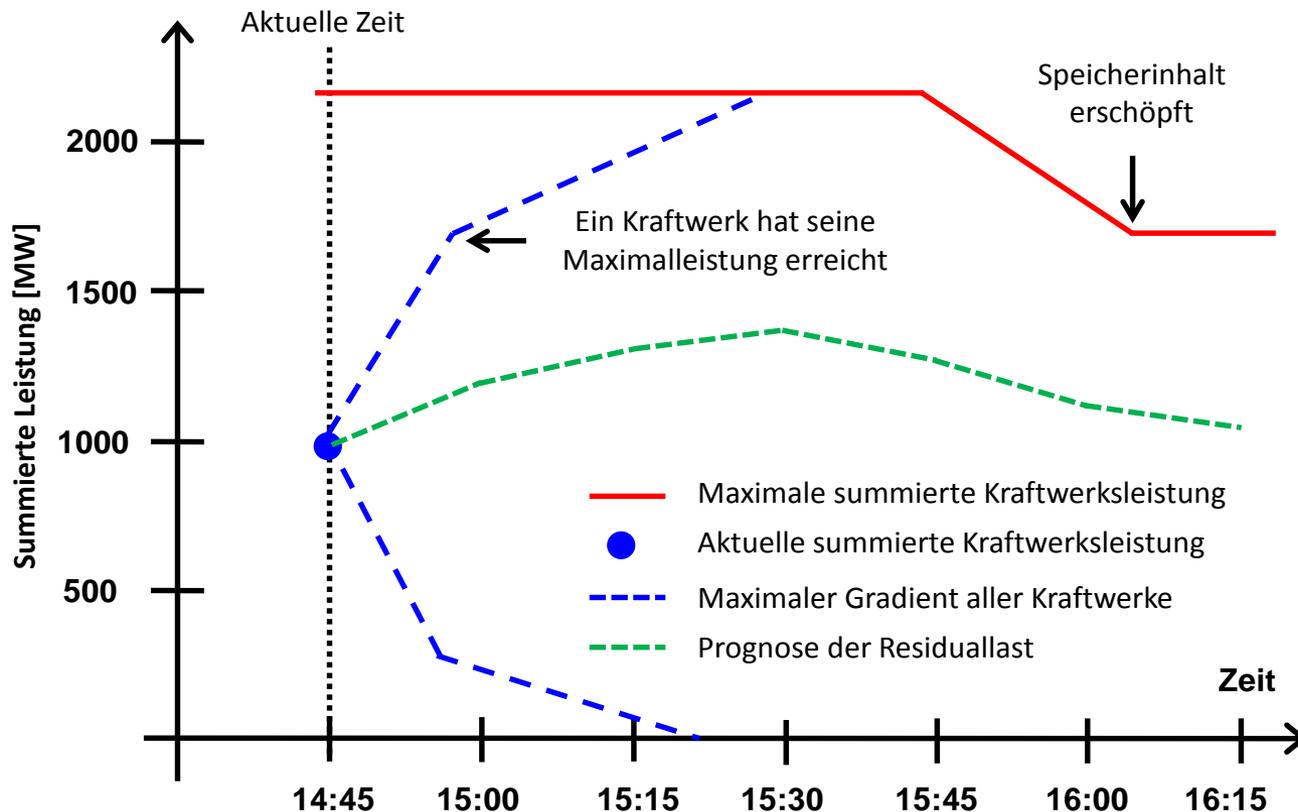
Awareness Tools

- Auswertung der
 - ◆ Netzfrequenz(en)
 - ◆ Netzspannungen
 - ◆ Netzauslastungen
- Systemidentifikation
 - ◆ Netzstatik
 - ◆ Dynamische Frequenzstabilität
 - ◆ Statische Frequenzstabilität
 - ◆ Netzanlaufzeitkonstante
 - ◆ Maximal zuschaltbare Last
 - ◆ Maximal zuschaltbare Leistung aus erneuerbaren Erzeugern
- Zusätzlich notwendige Messwerte
 - ◆ Eine ausreichend hoch aufgelöste Frequenzmessung pro Insel

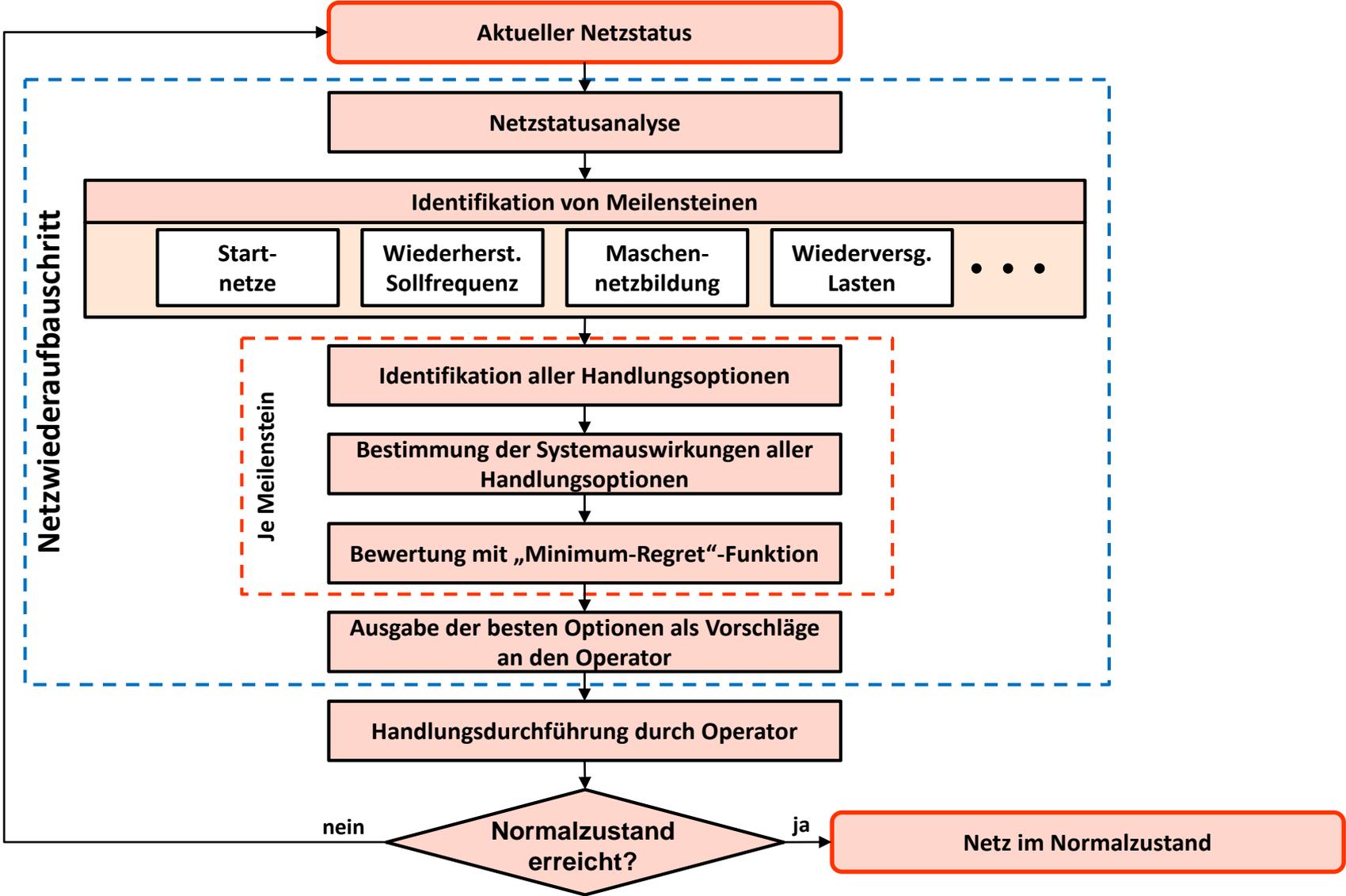


Awareness Tools

- Flexibilitätsdiagramm mit Blick in die Zukunft
 - ◆ Zusätzlicher Datenbedarf
 - Max. Kraftwerksgradienten
 - Speichergrößen und Speicherinhalte
 - Prognose für Lasten und erneuerbare Erzeuger

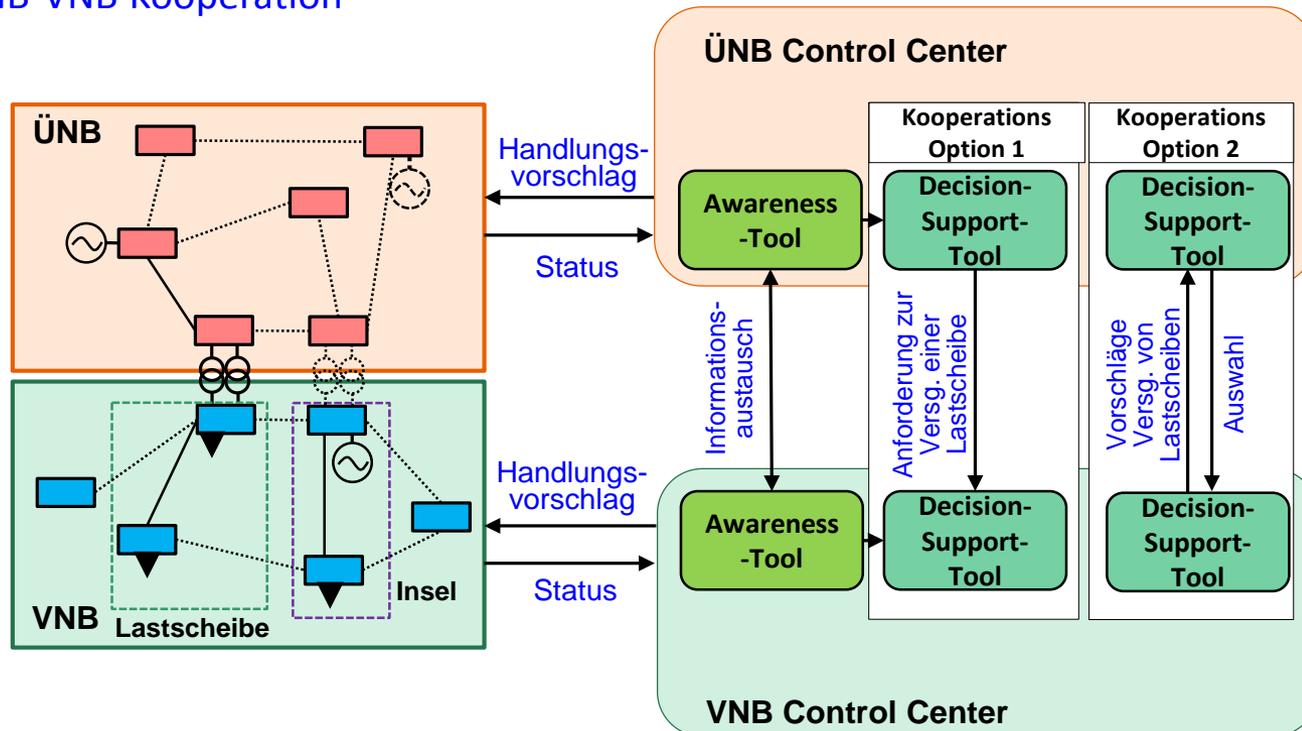


Decision Support Tool



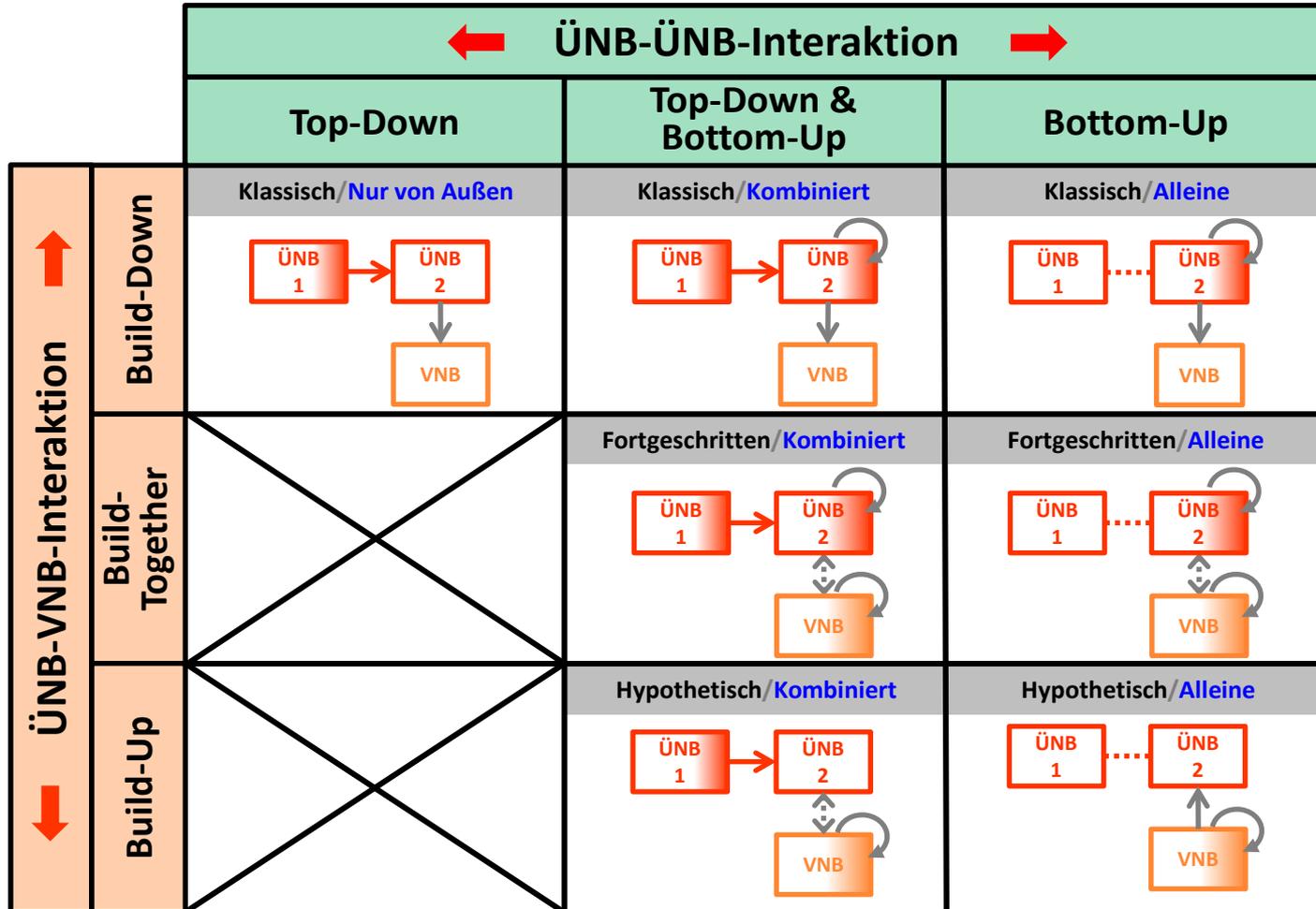
Bewertung und Ausblick

- Bewertung der CC-Tools
 - ◆ Erfahrungen aus Trainings mit Operatoren der Amprion GmbH
 - Tools wurden von den Operatoren sehr gut angenommen
 - Vorberechnung aller vorgeschlagenen Handlungen wird sehr geschätzt
 - Decision Support-Tool folgt einer menschlichen Vorgehensweise und erklärt diese
- Ausblick
 - ◆ ÜNB-VNB Kooperation



Netzwiederaufbaustrategien

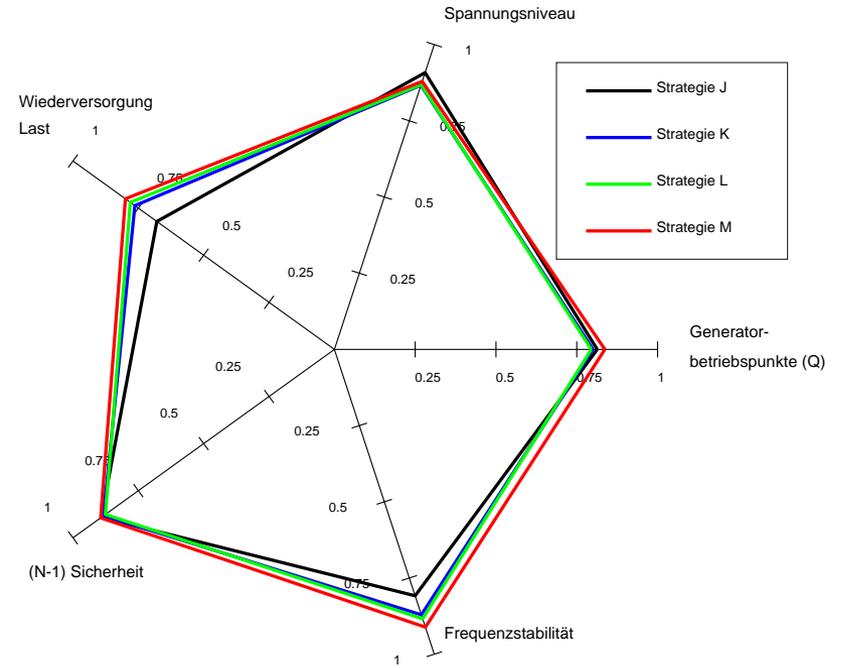
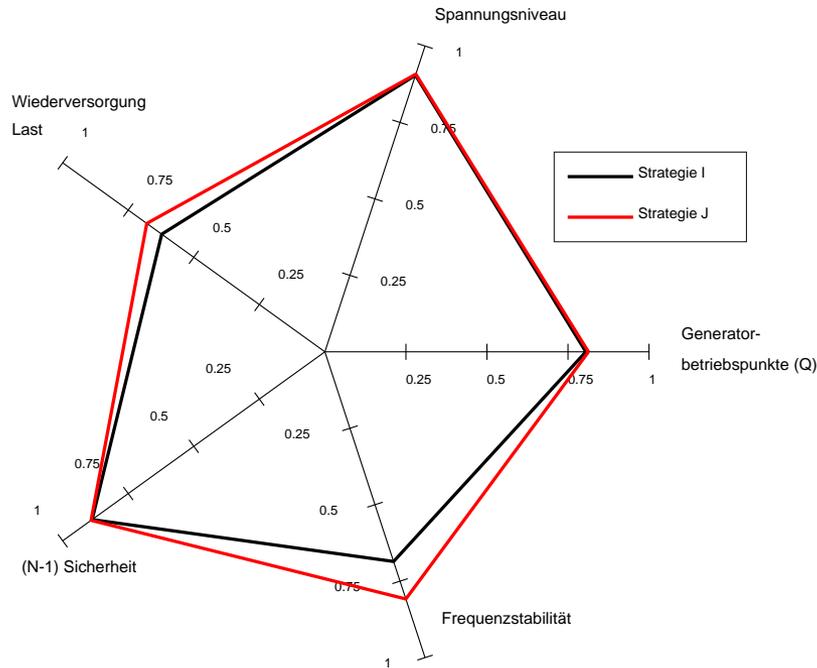
- Basisstrategien



Schwarzstart
 Spannungsfortschaltung
 Synchronisation

Analyseverfahren von Netzwiederaufbaustrategien (Beispiele)

■ Analyseschritte: Startnetz + Anzahl der BSUs



■ Analyse: Startnetze

Strategie	Startnetze
Strategie I	nein
Strategie J	ja

← Übergebene Teilstrategie

Legende

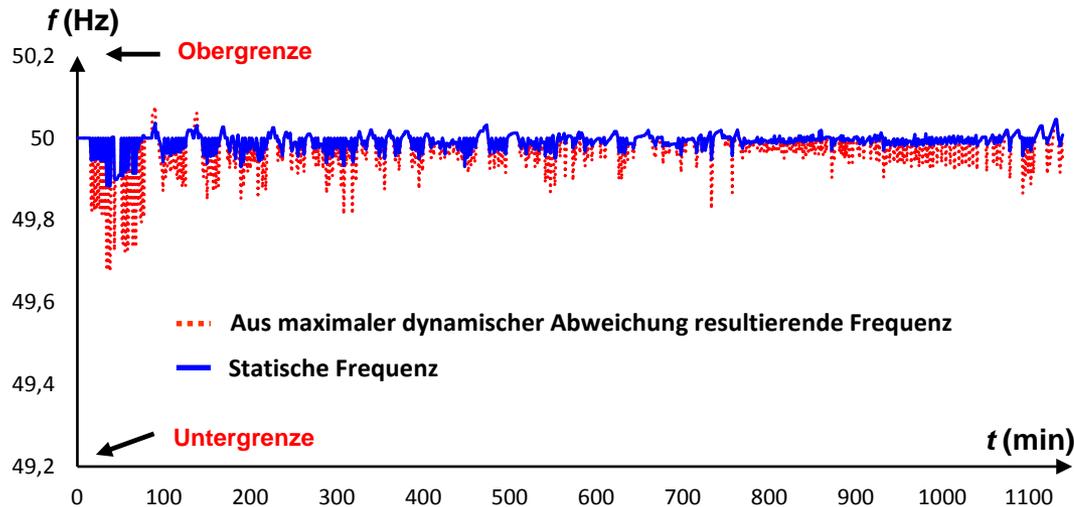
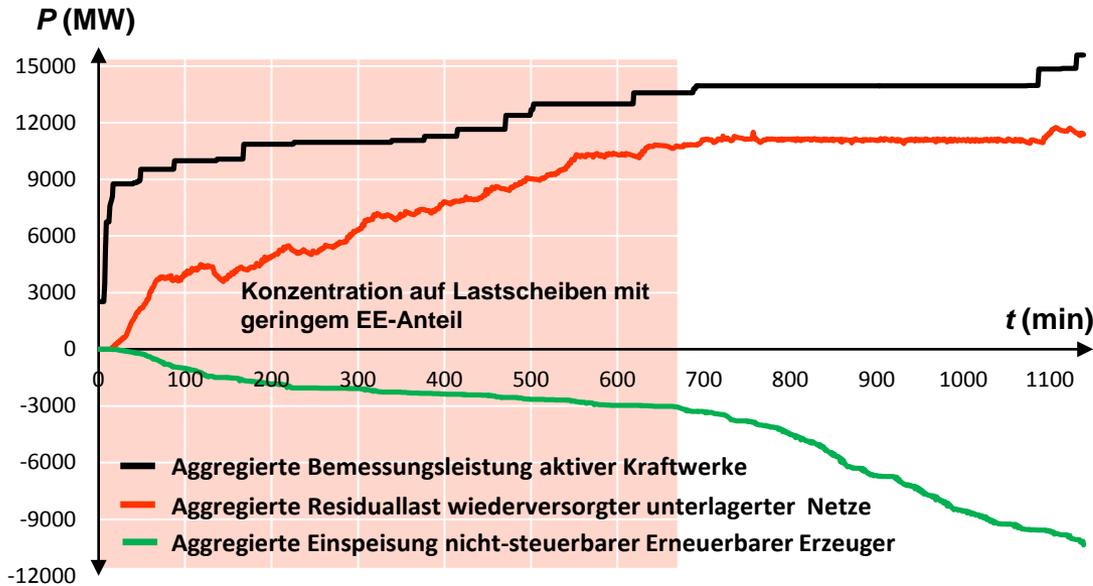
- ♦ (F) Wiederherst. Sollfrequenz
- ♦ (W) Wiedervers. von Lasten
- ♦ (L) Einschalten von einzelnen Leitungen/Trafos
- ♦ (G) Synchr. eines Generators
- ♦ (M) Bildung von Maschen

■ Analyse: Anzahl von BSUs

Strategie	Anzahl BSUs
Strategie J	1
Strategie K	2
Strategie L	3
Strategie M	4

← Übergebene Teilstrategie

Beste gefundene Netzwiederaufbaustrategie



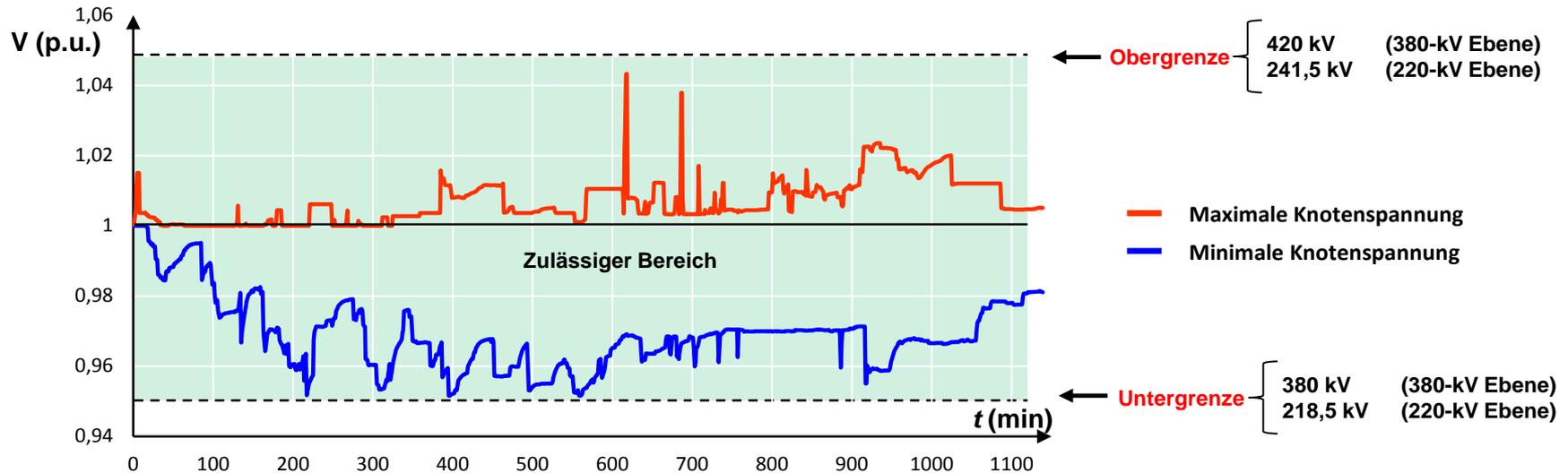
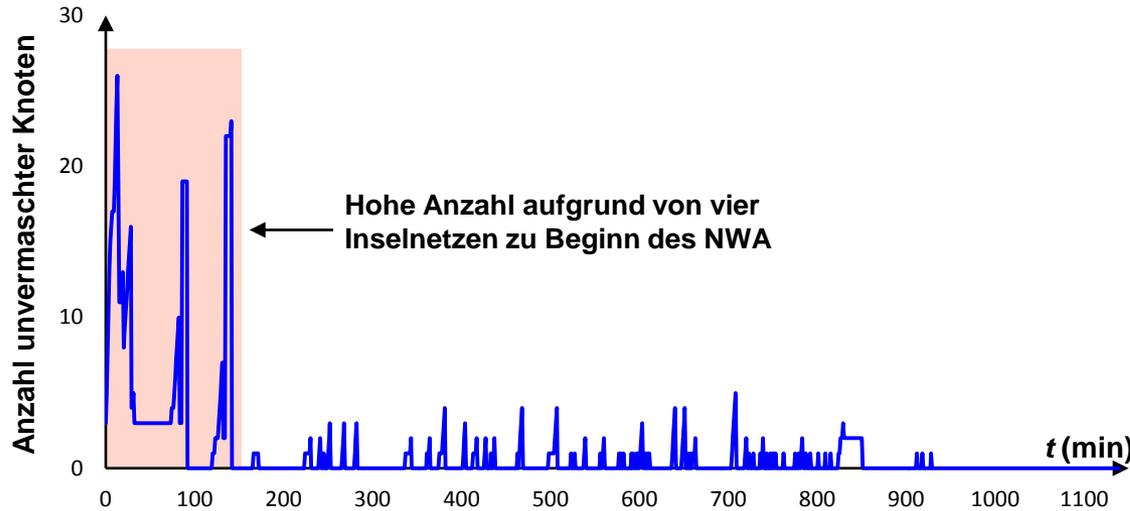
Beste Netzwiederaufbaustrategie

Zeitpunkte der Durchführung von Handlungen	„Gleichzeitig“
Festlegung der Sicherheitsgrenzen	Standard
Anzahl von BSUs als Startpunkte	4 BSUs
Aufbau von Startnetzen (Hochfahrnetze)	Aufbau von Startnetzen
Integration von Erneuerbaren Energien	Integration EE zu Beginn
Priorisierung der Handlungen	G F M W L
Zusammenspiel der Akteure des NWA	Bottom-Up / Build-Down



NWA in 18,98 Stunden abgeschlossen

Beste gefundene Netzwiederaufbaustrategie



Wesentliche Erkenntnisse

Analyse von Strategie für den NWA

- Hochfahrnetze beschleunigen den NWA signifikant
- Integration von EE-Anlagen zu Beginn des NWA möglich und vorteilhaft
- Zu Beginn des NWA sind Lastscheiben mit geringer EE-Einspeisung vorteilhaft
- Wiederherstellung der Sollfrequenz nach geringen Frequenzabweichungen vorteilhaft
- Hohe Priorität der Maschenbildung effektiv bzgl. (N-1) Sicherheit
- Resynchronisation von Inselnetze so früh wie möglich

Operator Tools

- **ALLE Aktionen des Operators sollten vorausberechnet werden**
- Awareness-Tool verbessert Kenntnis über Zustand des Netzes signifikant
- Decision-Support Tool hilft zweckmäßige Aktionen zu identifizieren, unzulässige Handlungen zu vermeiden und die Systemsicherheit zu gewährleisten
- **Standardisierung u. Automatisierung der ÜNB - VNB Koop. reduziert Risiken während NWA und ist Voraussetzung für frühe Einbindung von EE**

Verhalten von Lasten und dezentralen Erzeugern im Fall des NWA

- VNBs sollten Prognosetools für Last und verteilte Erzeugung einsetzen
- Kenntnis der Residuallastgradienten und –spitzen hinter jedem Schalter
- Ping-Bang Effekte sind möglich aber beherrschbar
- Industrielastenmodelle stark vom Produktionsprozess abhängig



Prof. Dr. W.H. Wellssow
wellssow@eit.uni-kl.de

University of Kaiserslautern
Chair for energy systems and energy
management