

Aufbau/Betrieb Notversorgungsinseln im Verteilungsnetz

IEEE PES German Chapter Workshop
Stabile Netze mit Erneuerbaren Energien

Kassel | 26.09.18

Prof. Dr.-Ing. Michael Finkel | HSA

Gefördert durch:



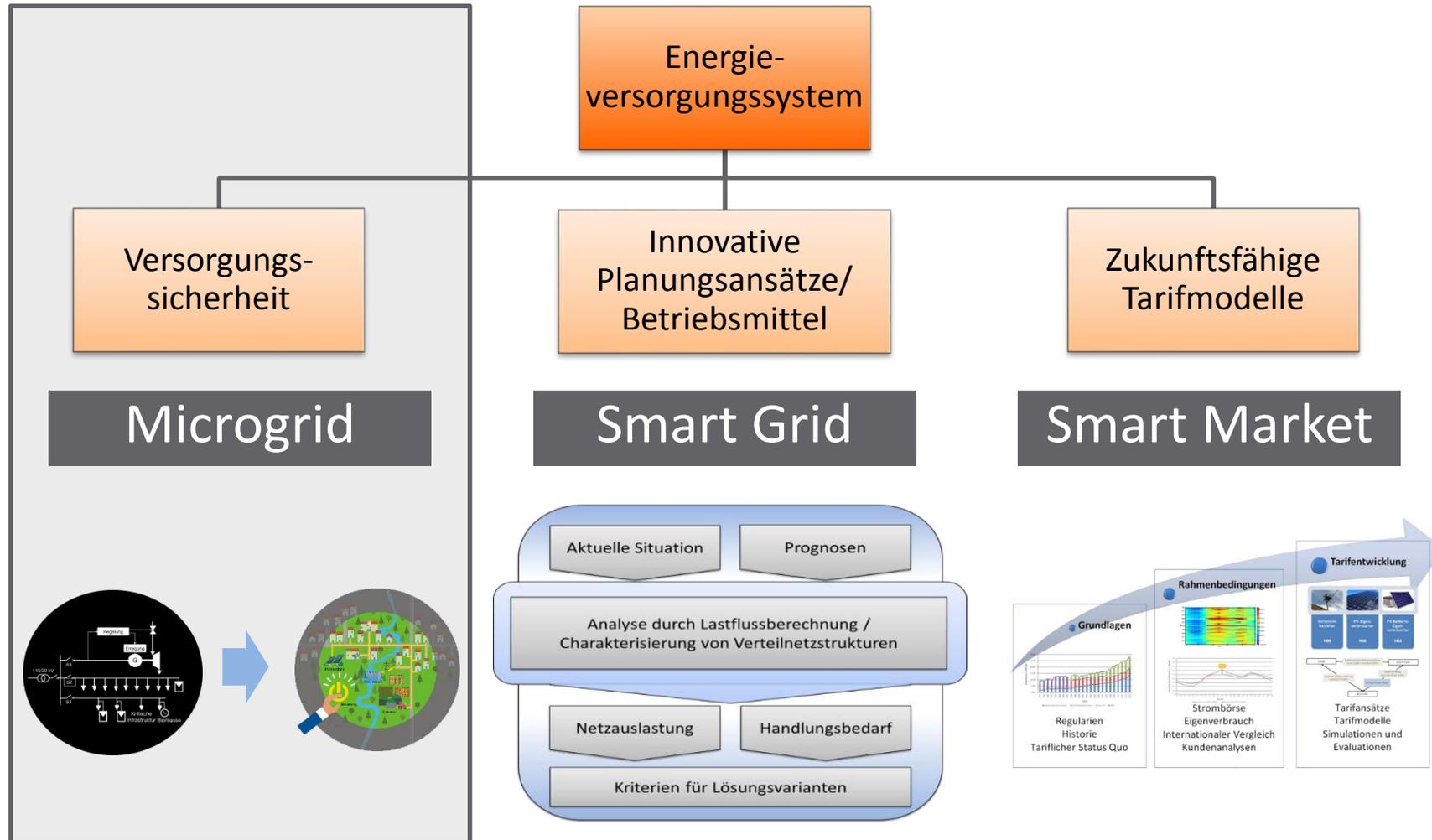
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



**Hochschule
Augsburg** University of
Applied Sciences

Forschungsschwerpunkte Fachbereich



Agenda



1. Motivation
2. LINDA Konzept
Feldversuche
3. Erkenntnisse

Stromausfall in Deutschland

Agenda:

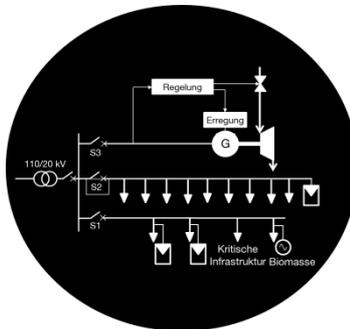
Kernaussagen TAB-Bericht:

- Gesellschaft ist hochgradig von elektrischer Energie abhängig
- Auf einen großflächigen und langandauernden Stromausfall aber nicht vorbereitet
- Je nach Dauer kann ein Blackout zu einer nationalen Katastrophe führen



Quelle:
<https://www.amazon.de/BLACK-OUT-Morgen-ist-spät-Roman/dp/3764504455>

- Die Versorgung der kritischsten Verbraucher würde den Schaden erheblich minimieren
- Dezentrale Erzeuger stehen in großer Zahl nahezu flächendeckend zur Verfügung
- Können die DEA nicht für eine Notversorgung genutzt werden?



Abgrenzung zu anderen Projekten

LINDA...

Agenda:

... zielt **nicht** auf einen dauerhaften Betrieb von Inselnetzen ab

... entwickelt **kein** neues Konzept für den europaweiten Netzwiederaufbau

... kann **nicht** auf den Einsatz von rotierenden Maschinen verzichten

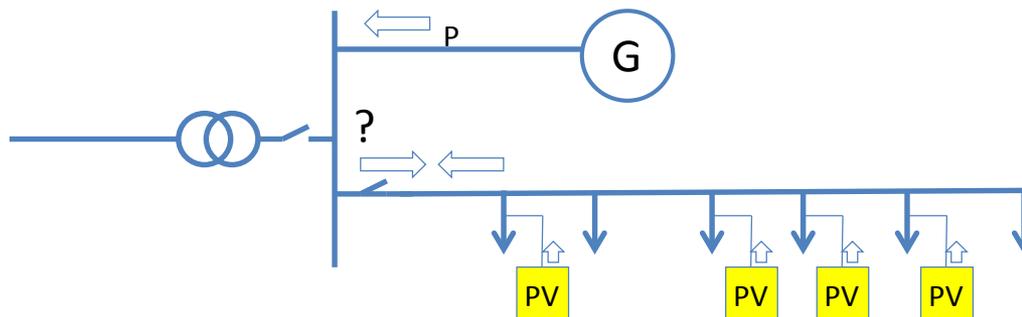
... setzt **keine** Nachrüstung oder Umparametrierung der dezentralen Erzeugungsanlagen voraus (Ausnahme: Inselführendes Kraftwerk)

... benötigt **kein** gesichertes schwarzfallfestes Kommunikationsnetz (Ausnahme: zum inselführenden Kraftwerk und zur HS/MS-Station)

- LINDA ist als kostengünstige Notfalllösung für den Krisenfall gedacht, die sich möglichst flächendeckend einsetzen lässt.

Herausforderungen beim Netzwiederaufbau

- Agenda:
1. Gut regelbares (teillastfähiges) Kraftwerk gesicherter Leistung und geringem Eigenbedarf hochfahren (Wasserkraftwerk)
 2. Verbraucher zuschalten um Netz stabiler zu machen.
 - Problem: Wo findet man noch Verbrauchsnetze?
 - Netzgekoppelte DEA senken Verbrauch und destabilisieren die Insel
 - Erzeugungsmanagement nach EEG könnte funktionieren. Kommunikation?



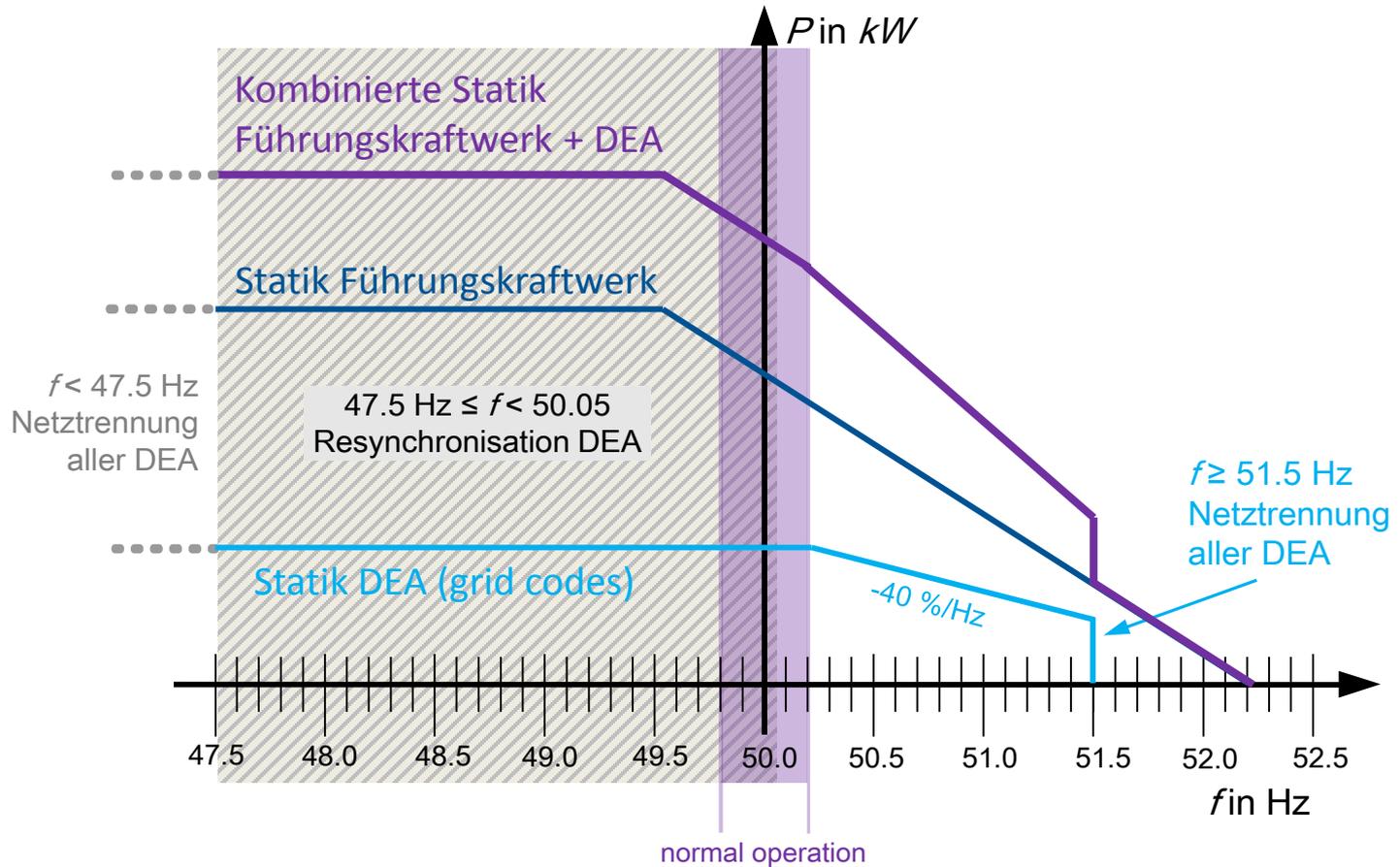
Wirkleistungsregelungskonzept

Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



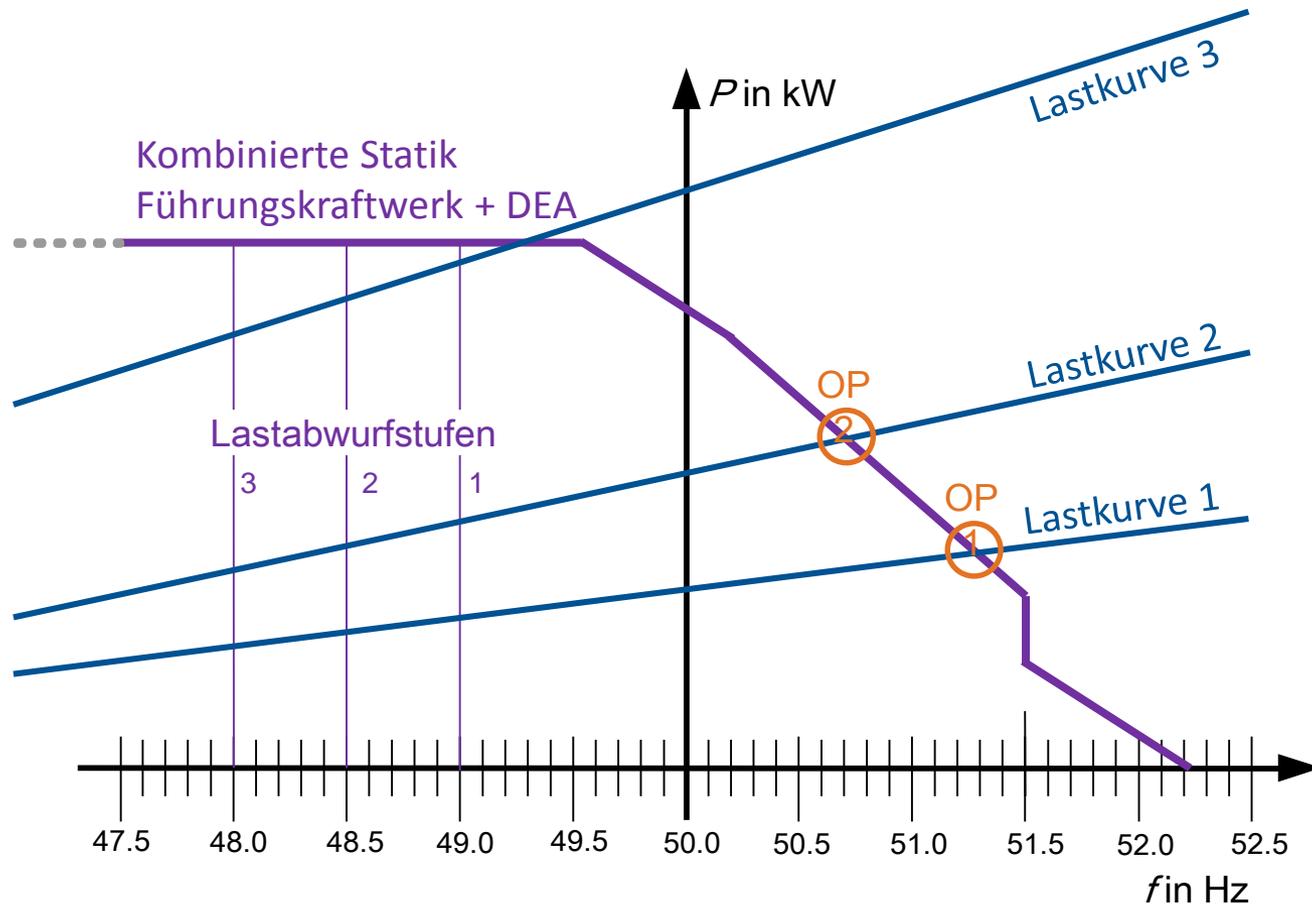
Wirkleistungsregelungskonzept

Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Stationärer Arbeitspunkt ist abhängig von Last- und Erzeugungssituation

➔ Frequenz ist Kommunikations- und Regelgröße

Projektpartner LINDA

Agenda:



Hochschule
Augsburg University of
Applied Sciences

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

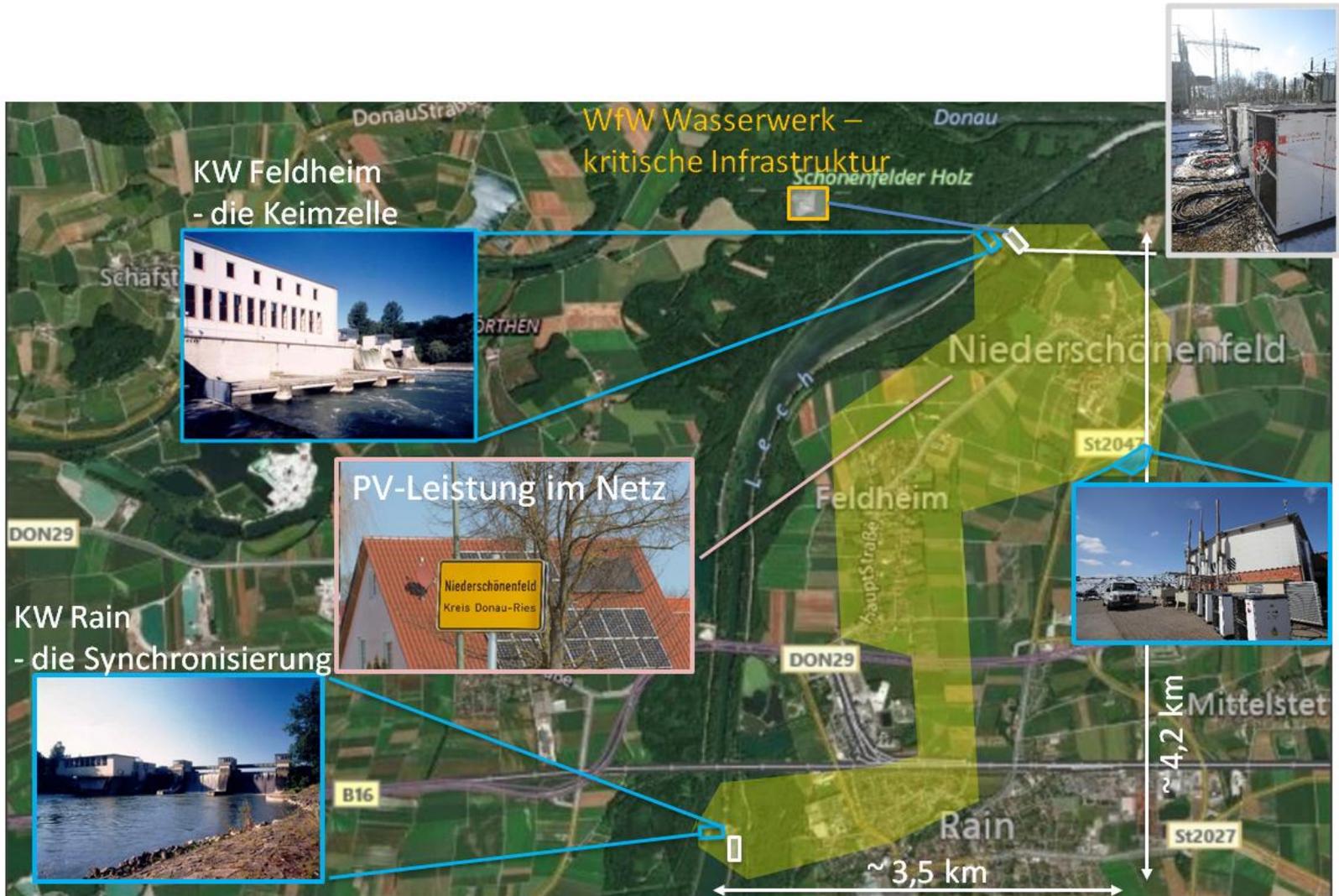
Netzgebiet der Feldversuche

Agenda:

Motivation

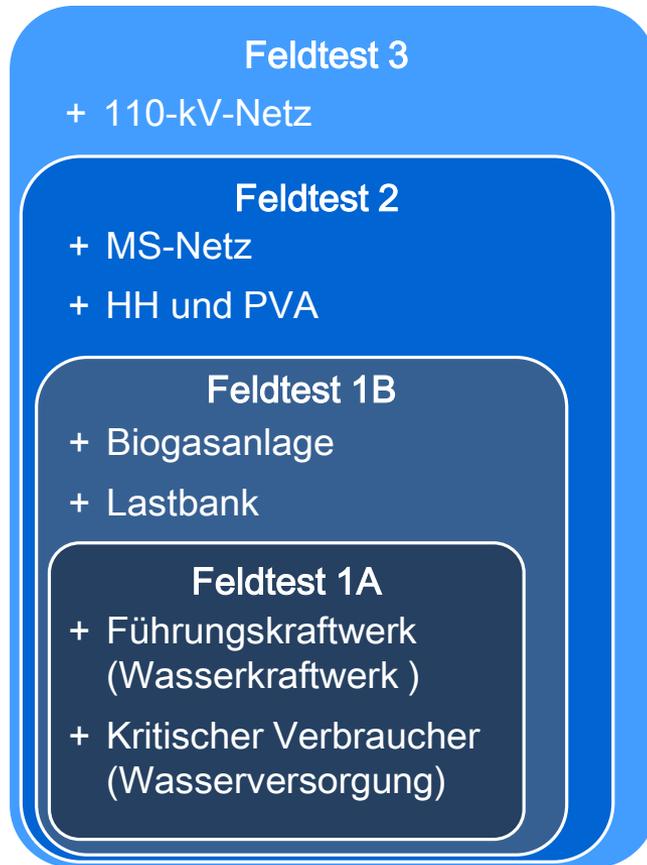
LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Netzinsel

Zielsetzung/Erkenntnisgewinn



Resynchronisation der MS-Netzinsel
mit dem überlagerten 110-kV-Netz

stabiler Betrieb der Netzinsel
mit allen Einflussgrößen

Verhalten von DEA im Inselbetrieb
Wechselwirkung verschiedener
Erzeuger

statisches und dynamisches
Verhalten des WKW und
kritischen Verbraucher

Agenda:

Motivation

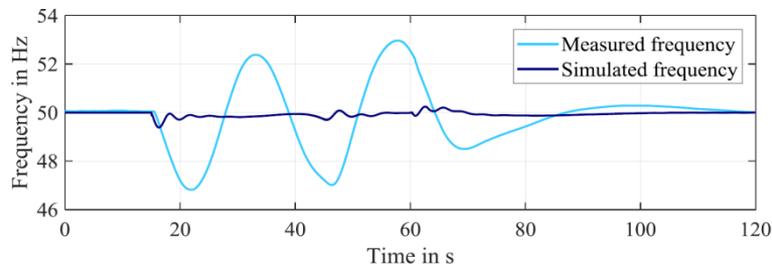
LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse

Erkenntnisse aus LINDA

Ausgewählte Erkenntnisse aus LINDA:

- Standardmodelle geben das reale Verhalten nur unzureichend wieder. Durch Anpassen der relevanten Parameter, können Simulationsmodelle sehr gut an die Realität angepasst werden.



M. Gratz et al: Frequency Stability in Island Networks: Development of Kaplan Turbine Model and Control of Dynamics, PSCC 2018, Dublin

- PV-Anlagen verhalten sich gutmütiger als die Minimalanforderungen aus Normen vorgeben.
- Biogasanlagen sind in der Standardleistungsregelung sehr träge und haben keinen nennenswerten Einfluss auf die transiente Inselnetzstabilität. Bei Drehzahlregelung werden die Anlagen deutlich dynamischer.

Transientes Simulationsmodell

Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse

Dynamisches Simulationsmodell bildet ab:

- Alle Erzeugungsanlagen im Netzgebiet mit Regelungen
- Alle relevanten Lasten im Netzgebiet
- Netz (Transformatoren, Leitungen, Schaltanlagen, etc.)

Aufgaben des Simulationsmodells:

- Optimierung der Betriebsanlagen
- Optimierung des Konzepts (Reglerstatiken, Lastmanagement, Lastbankkonzept zur Erhöhung des Lastintegrationspotentials)
- Abschätzungen des Robustheitsniveaus des Inselnetzes gegenüber kritischen Einflüssen
- Ableitung von Kriterien für Verallgemeinerbarkeit

Kaplan-Turbinen-Modell

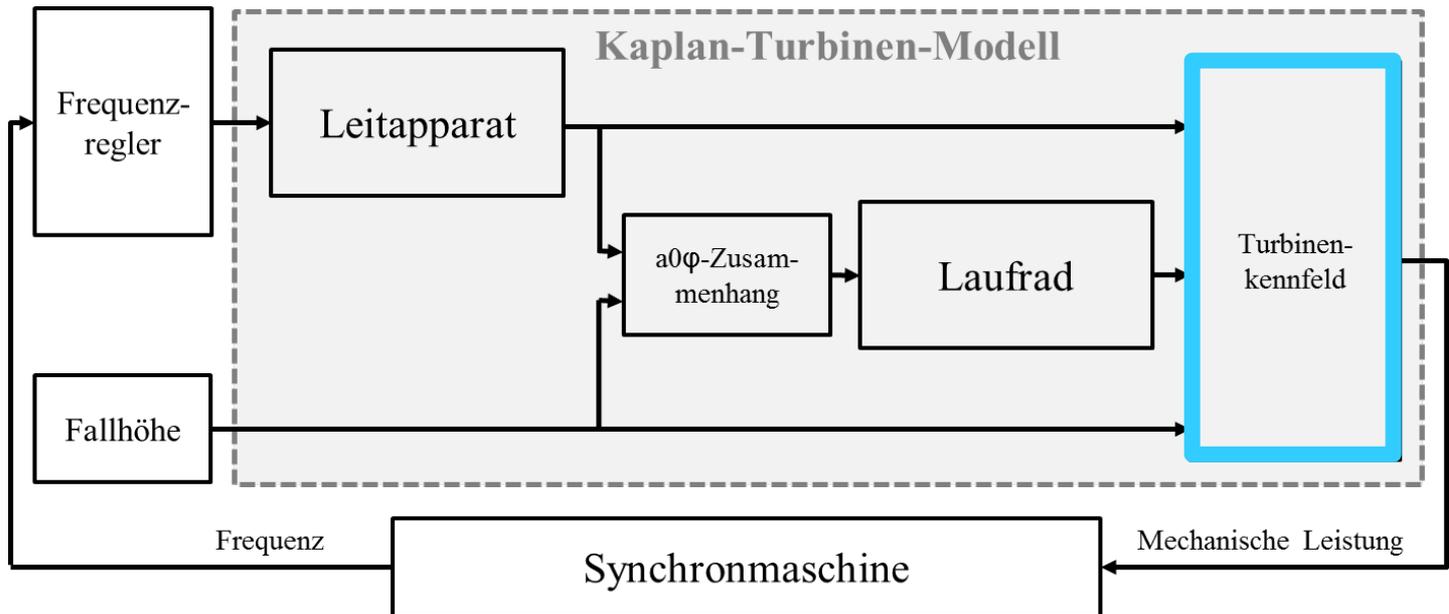
Kraftwerk Feldheim

Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Quelle: M. Gratz et al; Frequency Stability in Island Networks: Development of Kaplan Turbine Model and Control of Dynamics; PSCC 2018, Dublin

Turbinenkennfeld

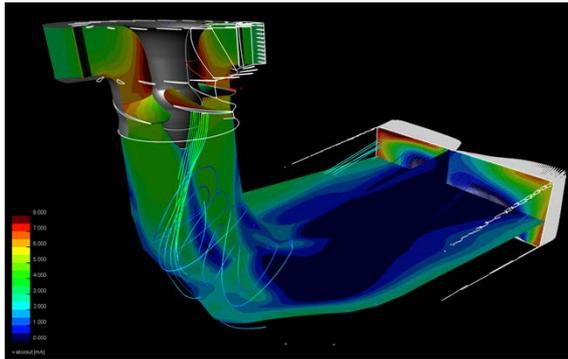
Agenda:

Motivation

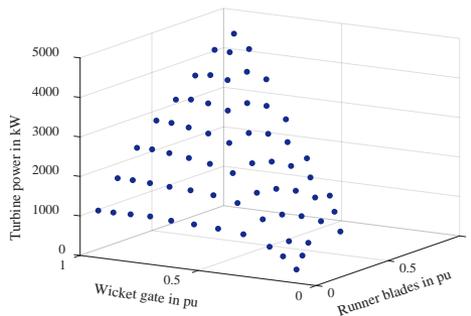
LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse

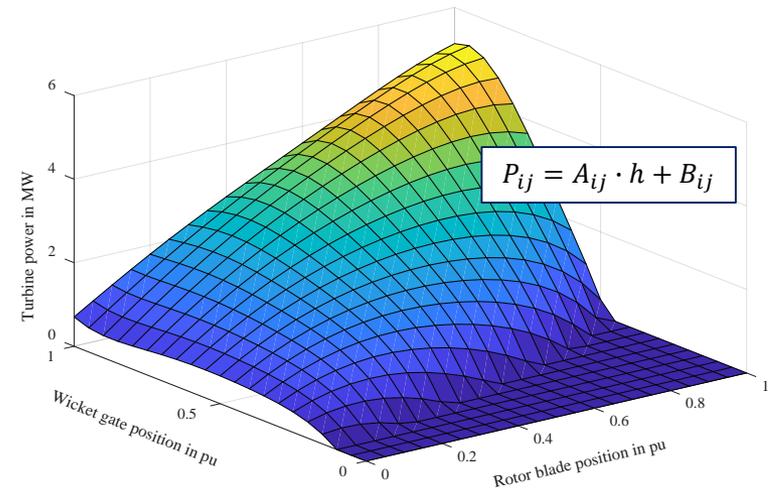
3D-Scan und CFD-Simulation



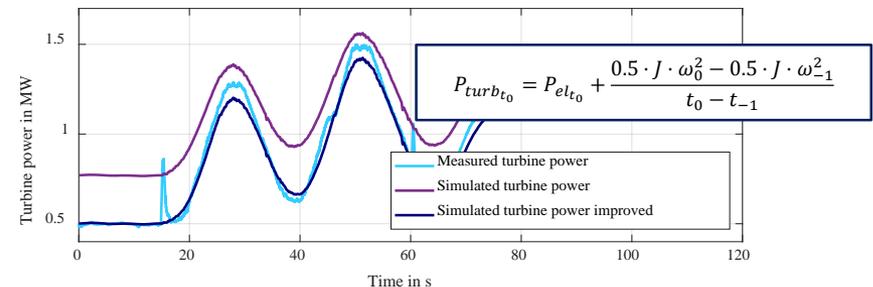
89 Arbeitspunkte für
9 verschiedene Fallhöhen



Turbinenkennfeld



Vergleich mit Messungen aus den Feldversuchen



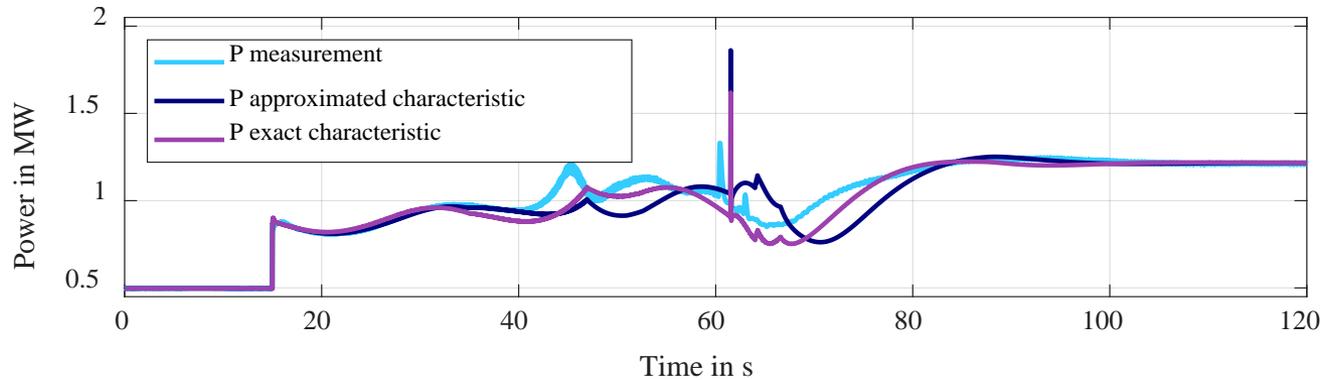
Quelle: M. Gratz et al; Frequency Stability in Island Networks: Development of Kaplan Turbine Model and Control of Dynamics; PSCC 2018, Dublin

Agenda:

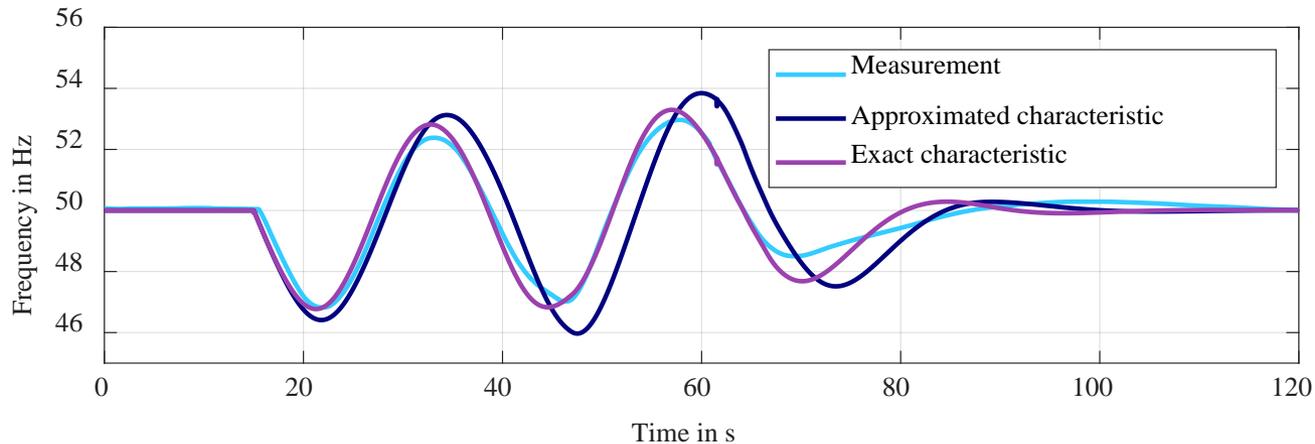
Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Gemessene und simulierte Lastleistung



Gemessene und simulierte Frequenzantwort nach der Zuschaltung von REW 2

Quelle: M. Gratz et al; Frequency Stability in Island Networks: Development of Kaplan Turbine Model and Control of Dynamics; PSCC 2018, Dublin

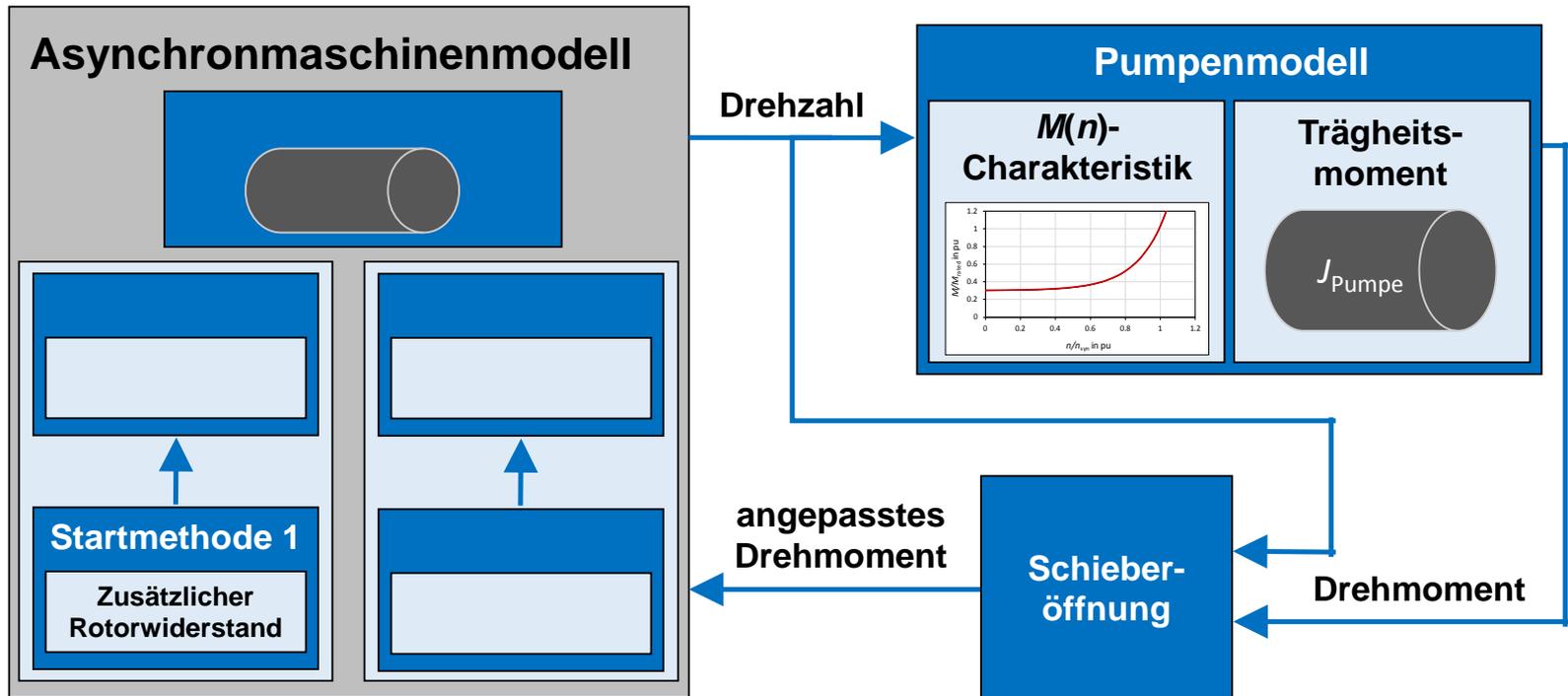
Aufbau Pumpenmodell REW 1-5

Agenda:

Motivation

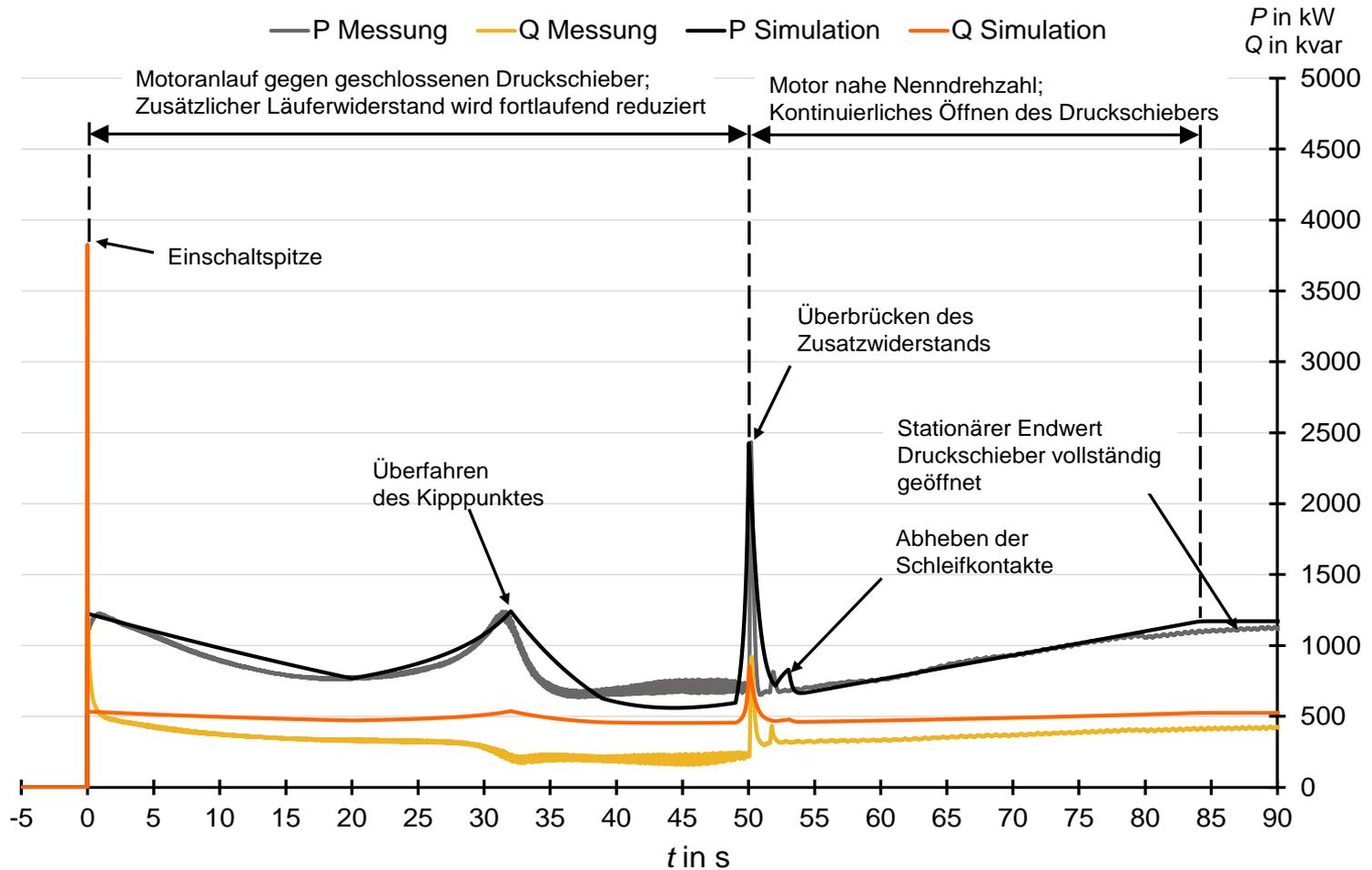
LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Quelle: Ch. Steinhart et al; Weiterentwicklung eines Asynchronmaschinenmodells zur transienten Simulation von Pumpenanlagen; IEWT 2017, Wien

REW2 am starren Netz: Vergleich Simulation – Messung



Quelle: Ch. Steinhart et al; Weiterentwicklung eines Asynchronmaschinenmodells zur transienten Simulation von Pumpenanlagen; IEWT 2017, Wien

Vergleich Simulation – Messung

Dynamisches Lastverhalten im Inselnetz

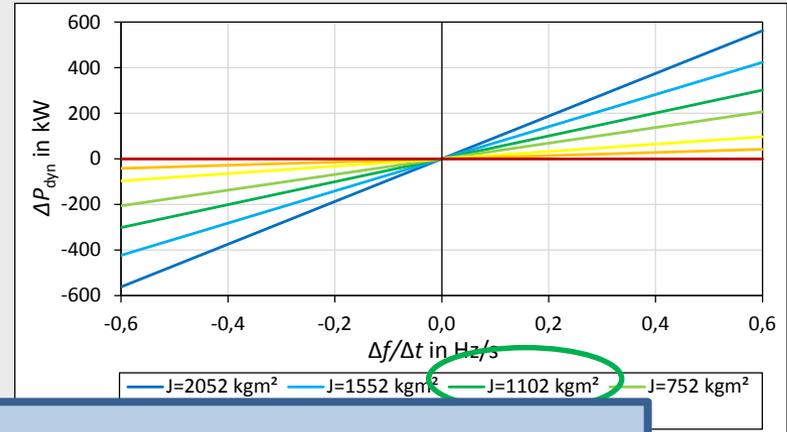
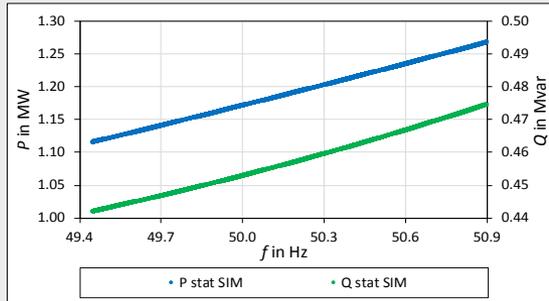


Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



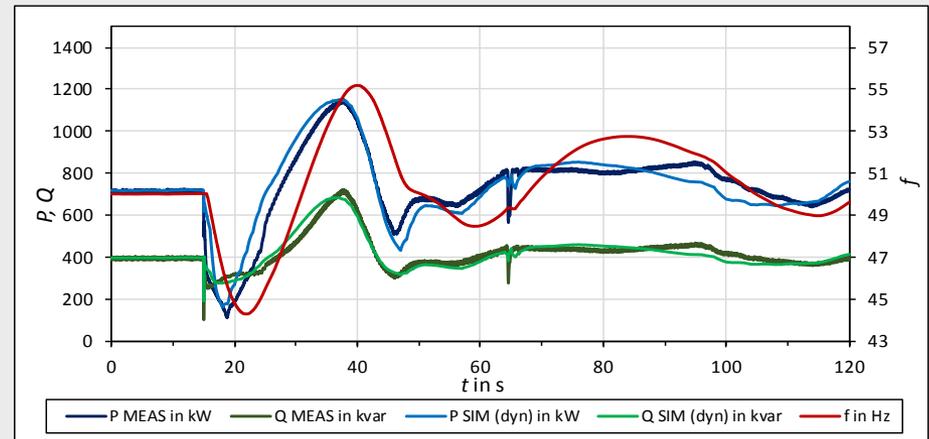
Quasi-stationäres

Verhalten

➔ Modell hat hohe Genauigkeit

Lastverhalten
Pumpen bei
Frequenzvariation

Quelle: Ch. Steinhart et al; Computation of Electrical Equipment Load Behavior Regarding to Frequency Variations in Isolated Grids, ENERGYCON 2018, Zypern



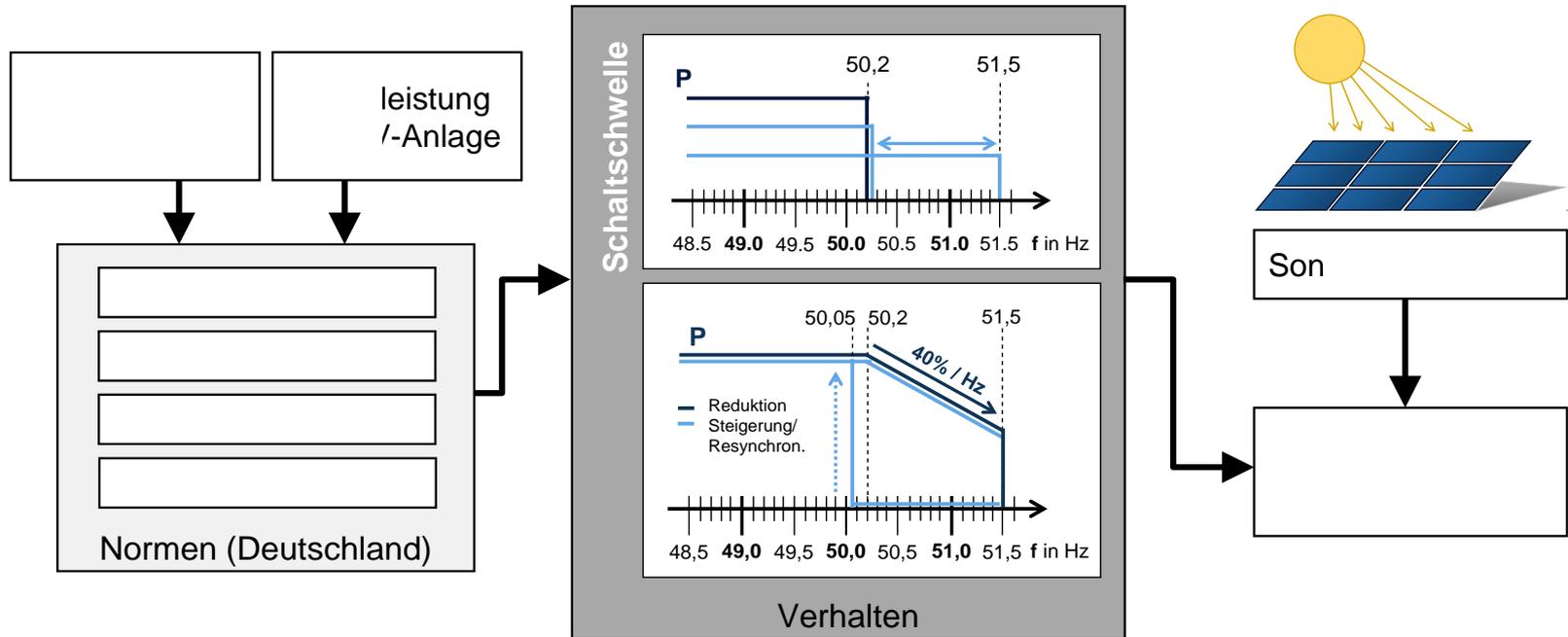
Simulationsmodelle PV-Anlagen

Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse

Untersuchung des realen Verhaltens von PV-Anlagen in Überfrequenz- Situationen mithilfe eines Inselnetz- Feldversuchs

Übersicht Wirkleistungsreduktion

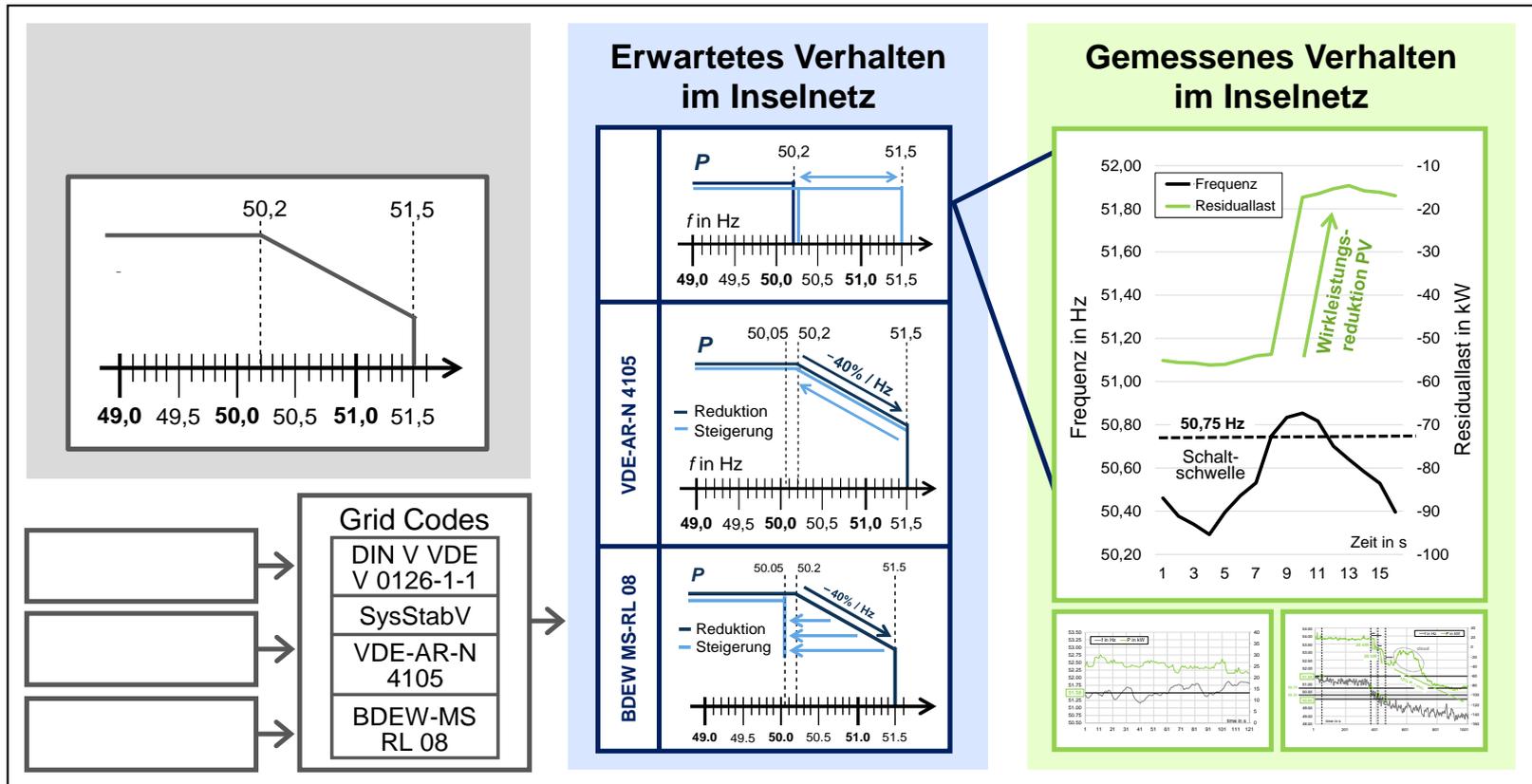
Wirkleistungsreduktion von PV-Anlagen in Überfrequenz-Situationen

Agenda:

Motivation

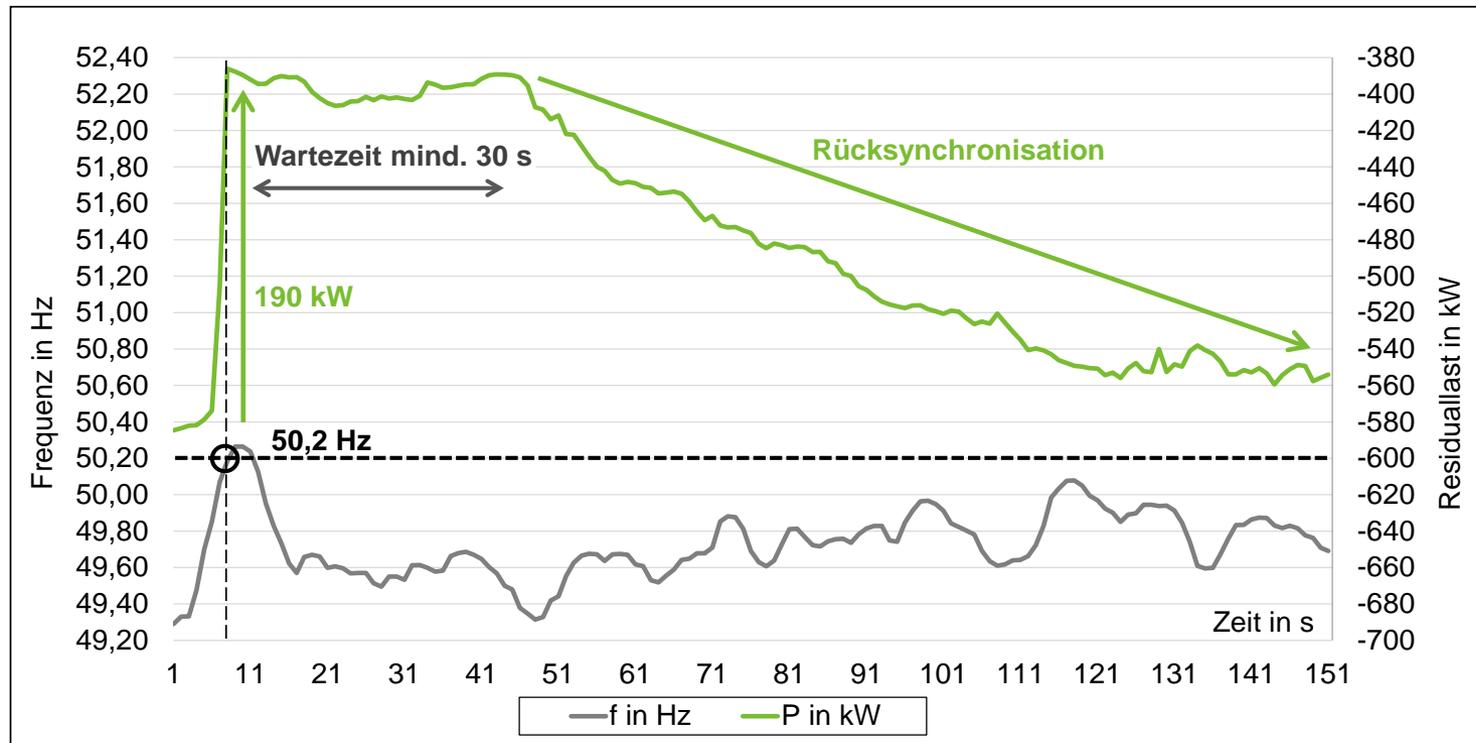
LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Quelle: Ch. Steinhart et al; Analyse des realen Verhaltens einer heterogenen PV-Anlagenpopulation bei Überfrequenz-Situationen mit Hilfe eines Inselnetz-Feldversuchs; EnInnov 2018, Graz

50,2 Hz Schwellwert



- Netztrennung der Anlagen über 2 s
→ Mögliche Erklärung: Streuung bei den tatsächlichen Schwellwerten
- Netztrennung von Anlagen vor Erreichen der 50,2 Hz
- Rampenförmige Rücksynchronisation

Quelle: Ch. Steinhart et al; Analyse des realen Verhaltens einer heterogenen PV-Anlagenpopulation bei Überfrequenz-Situationen mit Hilfe eines Inselnetz-Feldversuchs; EnInnov 2018, Graz

Fazit PV Verhalten

- Stabiler Inselnetzbetrieb mit Wasserkraftwerk und heterogener PV-Anlagenpopulation möglich
 - Frequenzabhängige Wirkleistungsreduktion stützt das grundlegende Regelungskonzept gemäß LINDA
 - Verteilung der Schaltschwellen im untersuchten Netzgebiet weicht von der Idealverteilung einer gesamten Regelzone ab
 - $P(f)$ -Reduktion dämpft Frequenzabweichung bei Lastabschaltung
 - Inselnetzerkennung führte nicht zur Anlagenabschaltung
- Anlagen mit Netztrennung bei festen Frequenz-Schwellwerten sind unkritischer für Systemstabilität als erwartet
 - Netztrennung erfolgt nicht genau synchron
 - Rücksynchronisationsverhalten in Summe rampenförmig
- Einzelne Anlagen haben sich nicht normgerecht verhalten
 - Bei systemrelevanter Leistung Verhalten vor Inselbetrieb messen

Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse

Status des Projekts

Feldtests

Erfolgreiche Durchführung:

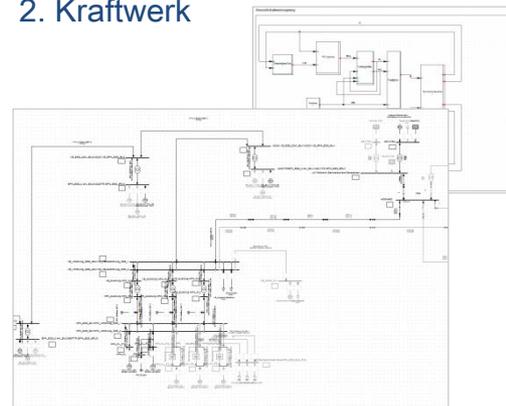
- Feldtest 1A
- Feldtest 1B
- Feldtest 2
- Feldtest 3



Bildquelle: LEW AG

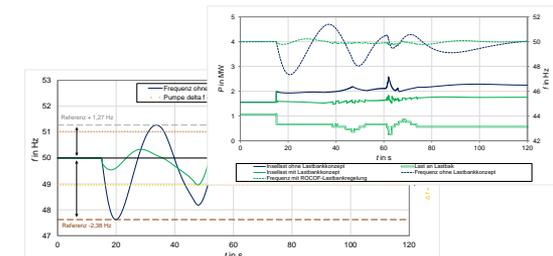
Simulationsmodell

- Dynamisches Kraftwerksmodell
- Dynamisches Lastmodell des kritischen Verbrauchers
- Dynamisches Modell der Biogasanlage
- Netzmodell
- Haushalte und andere Verbraucher
- PV-Anlagen
- 2. Kraftwerk



Optimierung Anlagen

- Optimierung der Frequenzregelung im Wasserkraftwerk für Inselbetrieb
- Optimierte Fahrweise des Führungskraftwerks im Inselbetrieb
- Lastbankkonzept zur Erhöhung der Frequenzstabilität bei Schaltungen
- Optimierte Parametrierung großer Lasten
- Optimierte Modellbildung
 - Führungskraftwerk
 - Frequenzabhängiges Lastverhalten



Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse

Zeithorizont

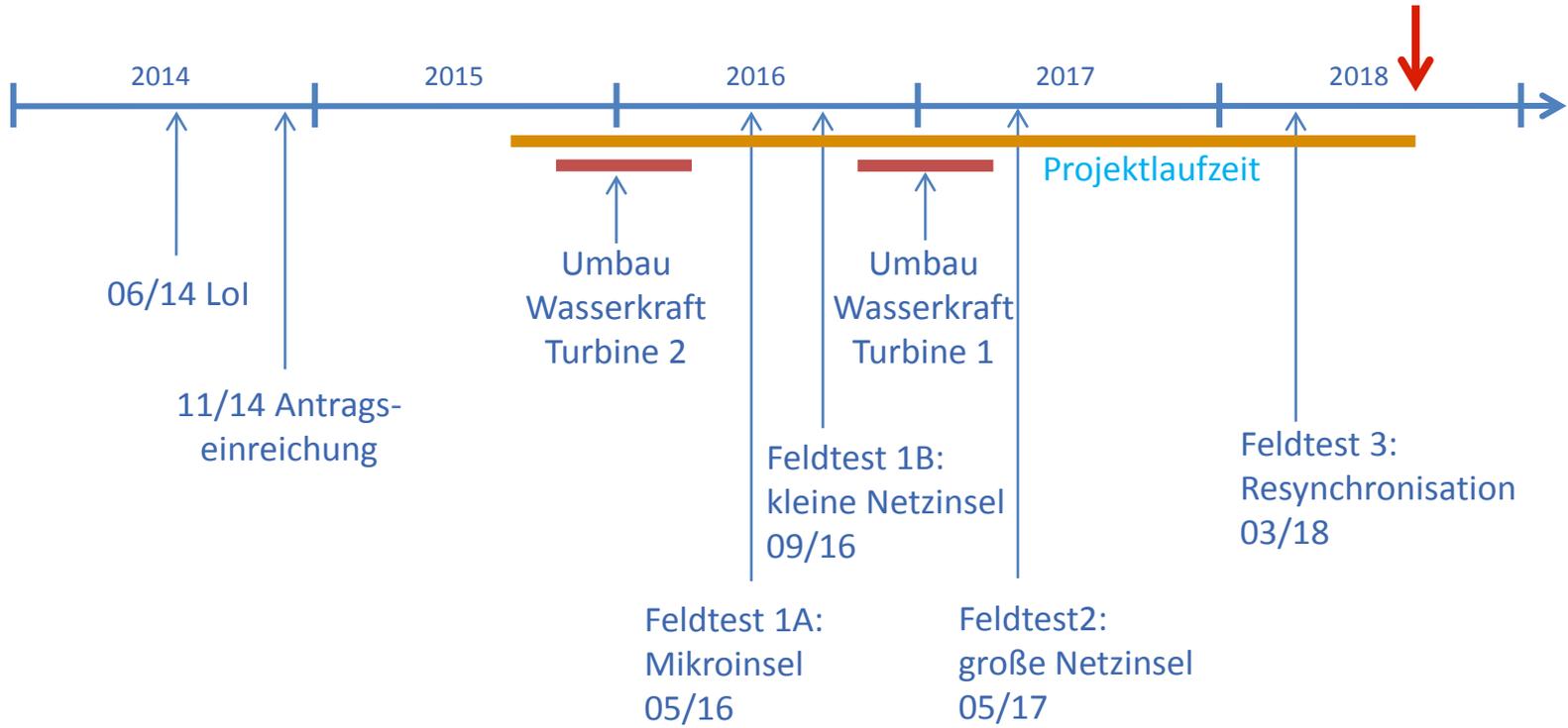


Agenda:

Motivation

LINDA Konzept
Feldversuche

Erkenntnisse



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Prof. Dr.-Ing. Michael Finkel MBA
Hochschule Augsburg
Fakultät für Elektrotechnik
An der Hochschule 1
86161 Augsburg

Tel.: +49 821 5586-3366

Fax: +49 821 5586-3360

E-Mail: michael.finkel@hs-augsburg.de

Publikationen, Image-Film, weitere Informationen unter
www.hs-augsburg.de/LINDA