

# Implementierung einer kombinierten Planungs- und Echtzeitsteuerung proaktiver Prosumer-Agenten für lokale Energie- und Flexibilitätsmärkte

18. Symposium Energieinnovation

Martin Asman  
Graz, 14.02.2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# 1. Motivation und Einleitung

# 2. Methode

- Erweiterung des Energie-Agenten Frameworks
- Deterministischer Planungsablauf
- Echtzeit-Steuerungsprozess

# 3. Ergebnisse Feldtest

# 4. Fazit

# 1. Motivation und Einleitung

## 2. Methode

- Erweiterung des Energie-Agenten Frameworks
- Deterministischer Planungsablauf
- Echtzeit-Steuerungsprozess

## 3. Ergebnisse Feldtest

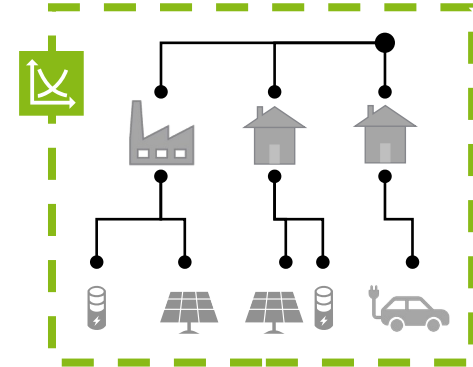
## 4. Fazit

# Integrierter Energie- und Flexibilitätsmarkt

Ansätze zur Berücksichtigung von Netzrestriktionen auf Smart Markets

Die Berücksichtigung von Netzrestriktionen auf Smart Markets folgt fünf grundsätzlichen Ansätzen:

1. Zonale Aufteilung
2. Nodal Pricing
3. Zentraler Dispatch
4. Dezentraler Peer-to-Peer (P2P) Handel
5. Parallelmärkte



# Integrierter Energie- und Flexibilitätsmarkt

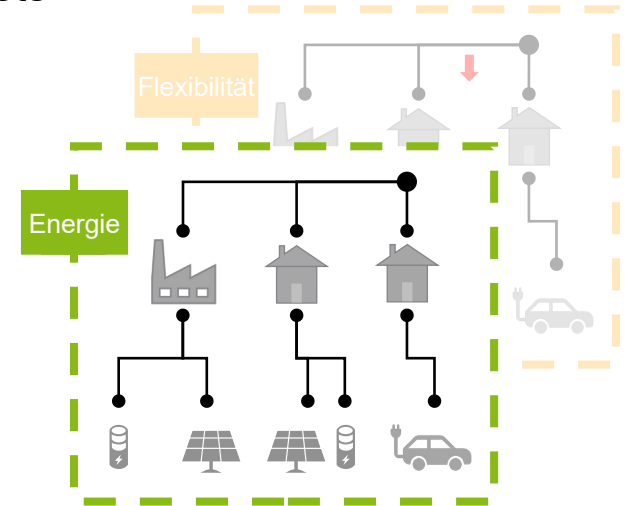
Ansätze zur Berücksichtigung von Netzrestriktionen auf Smart Markets – Parallelmärkte

Die Berücksichtigung von Netzrestriktionen auf Smart Markets folgt fünf grundsätzlichen Ansätzen:

1. Zonale Aufteilung
2. Nodal Pricing
3. Zentraler Dispatch
4. Dezentraler Peer-to-Peer (P2P) Handel
5. Parallelmärkte

Untersuchungsgegenstand des Forschungsprojektes PEAK<sup>1</sup>

- Lokaler Energiehandel zwischen Prosumern
- Präventives marktorientiertes Netzengpassmanagement
- Kuratives netzorientiertes Netzengpassmanagement
- Implementierung durch verschiedene Software-Agenten



Implementierung einer kombinierten Planungs- und Echtzeitsteuerung proaktiver Prosumer-Agenten

18. Symposium Energieinnovation | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Martin Asman | S. 5



# Die Software-Toolchain Agent.Workbench (AWB)

## Toolchain<sup>1</sup>

„Erweiterungsfähige Basiskomponenten“

Bestandteile:

- Software-Framework / -Bibliothek (z.B. abstrakte Klassen zur Erweiterung und vorgefertigte Funktionalitäten)
- Laufzeitumgebung (z.B. für Simulationen oder Embedded Systems)
- Ergänzende Unterstützungswerkzeuge



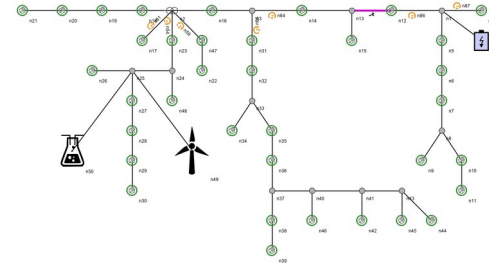
„Softwaretechnischer Werkzeugkoffer“

## Lösung

„Konkrete, anwendungsbezogene Lösung“

Bestandteile:

- Daten- und Objektstrukturen
- **Energie-Agenten**
- Netzberechnungen
- Laufzeit-Instanzen
- Visualisierungen
- Maintenance-Strukturen



UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

„Automatisierungslösung für Verteilnetze“

Implementierung einer kombinierten Planungs- und Echtzeitsteuerung proaktiver Prosumer-Agenten

18. Symposium Energieinnovation | Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik | Martin Asman | S. 6



# 1. Motivation und Einleitung

# 2. Methode

- Erweiterung des Energie-Agenten Frameworks
- Deterministischer Planungsablauf
- Echtzeit-Steuerungsprozess

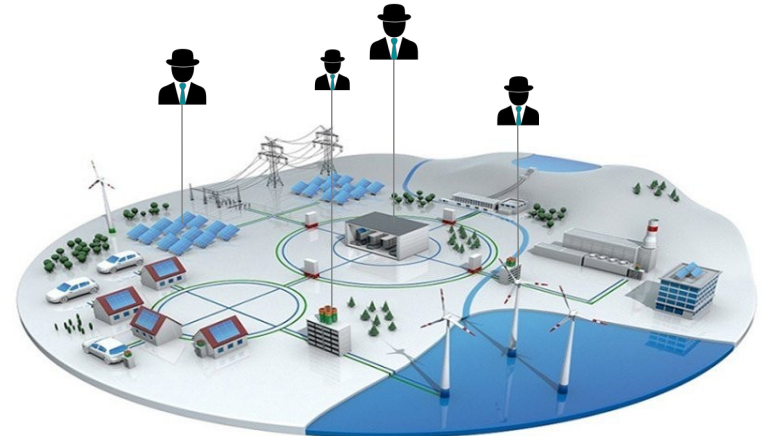
# 3. Ergebnisse Feldtest

# 4. Fazit

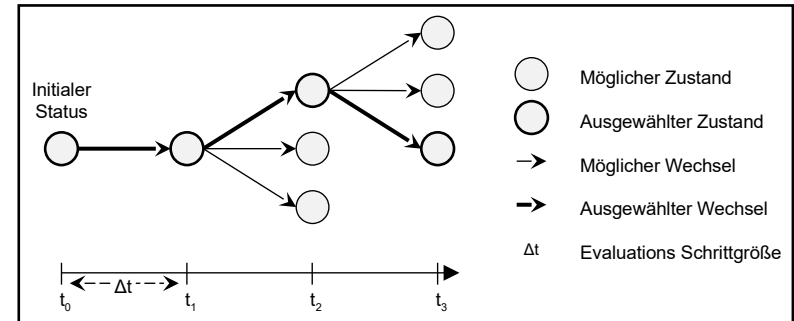
# Das Energie-Agenten Framework

## Energie-Agenten

- ... sind vorstrukturierte und erweiterungsfähige Software-Agenten zur Kontrolle von einem oder mehreren Energiesystemen (inkl. Netze)
- ... sind Software-Agenten, die zu kontrollierende Systeme durch die Nutzung von Systemmodellen auf Basis des Energie-Optionsmodells (EOM) „verstehen“



Quelle: <https://digilux.blog/2018/02/05/smart-grid/>

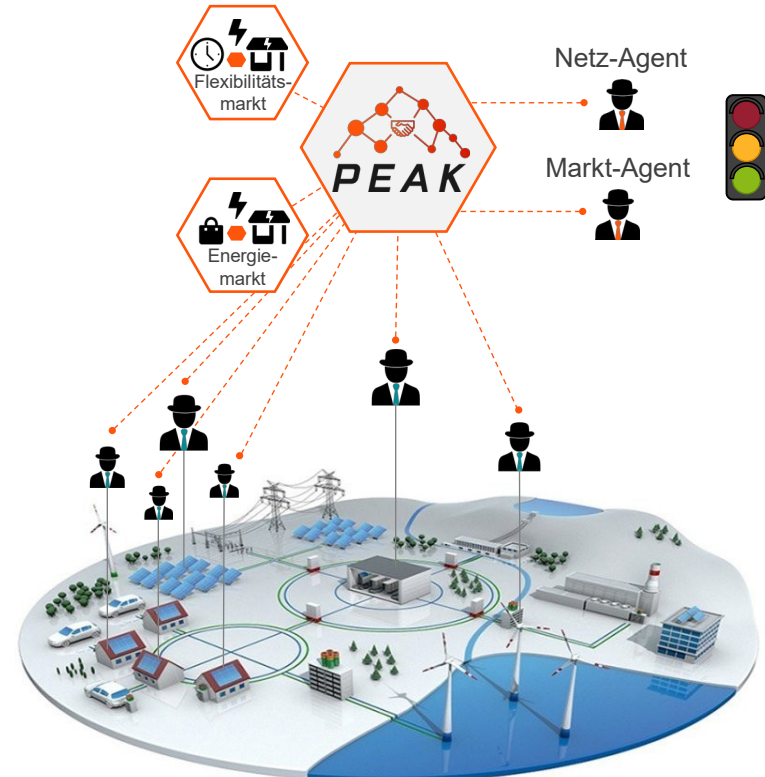




# Erweiterung des Energie-Agenten zum Prosumer-Agent

Basierend auf dem Energie-Agenten Framework wird ein Prosumer-Agent entwickelt, der

- ... die eigene Energiebilanz abschätzt,
- ... verfügbare Flexibilitätspotenziale ermittelt,
- ... auf einer lokalen Handelsplattform Energie und Flexibilität vermarktet und
- ... sowohl Handelsergebnisse als auch Leistungslimitierungen in echtzeitnahe Kontrollentscheidungen umsetzt

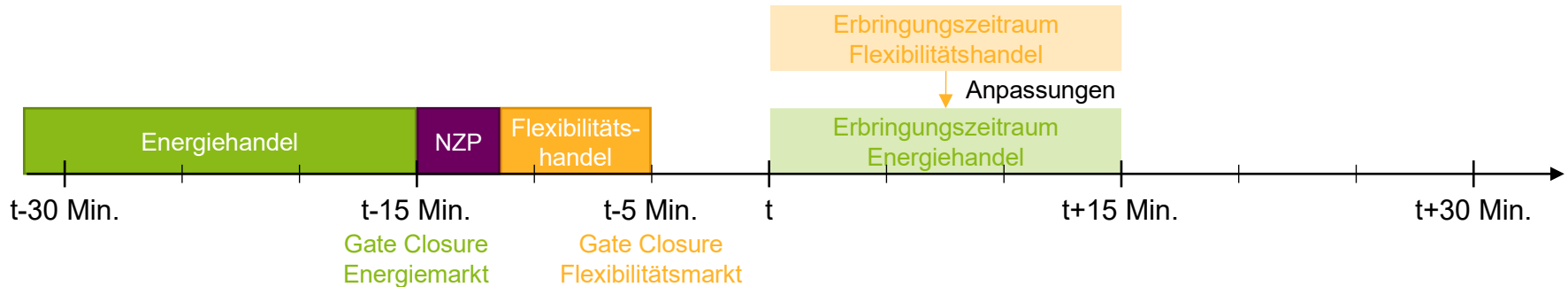
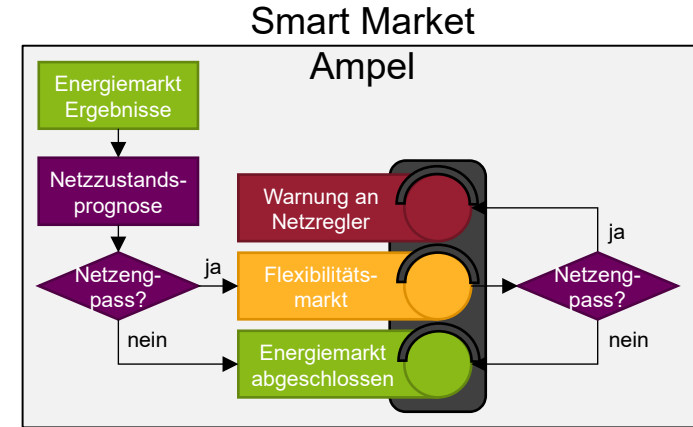


Quelle: <https://digilux.blog/2018/02/05/smart-grid/>

# Zeitlicher Ablauf: Energie- und Flexibilitätshandel

## Einführung der Smart Market Ampel

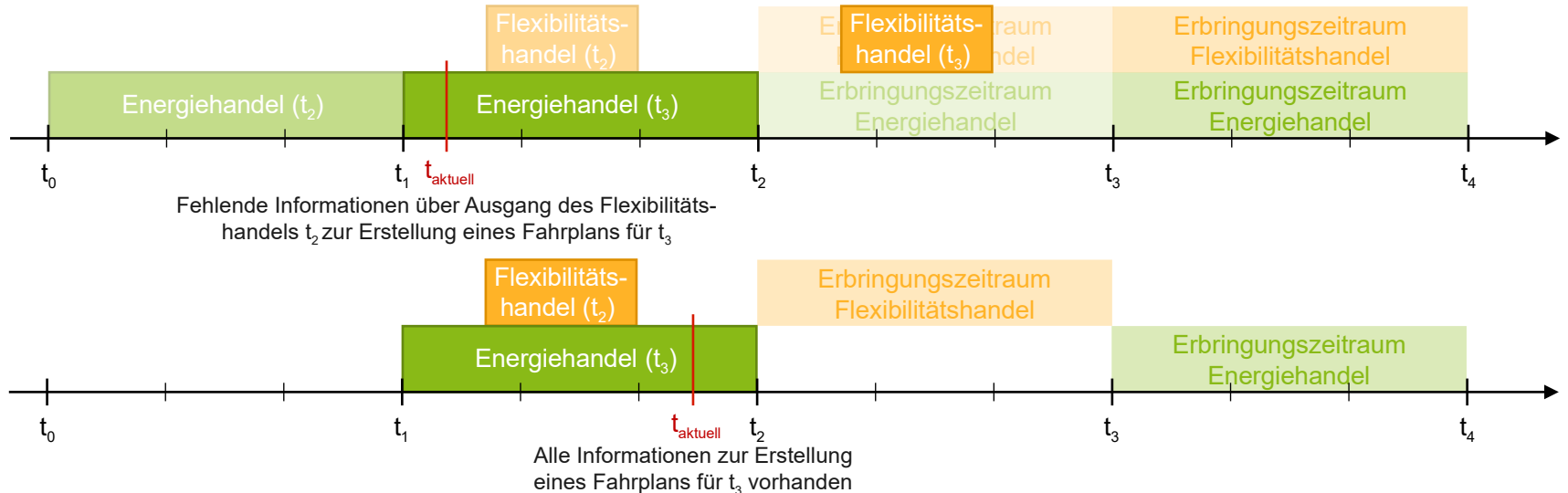
- Handelsperioden von jeweils 15 Minuten mit einem Vorlauf von 15 Minuten (Energie-) bzw. 5 Minuten (Flexibilitätsmarkt)
- Smart Market Ampel zur Kommunikation von netzdienlichem Anpassungsbedarf
- Netzzustandsprognose (NZZ) zur Überprüfung der Energiemarkt Ergebnisse auf Netzengpässe



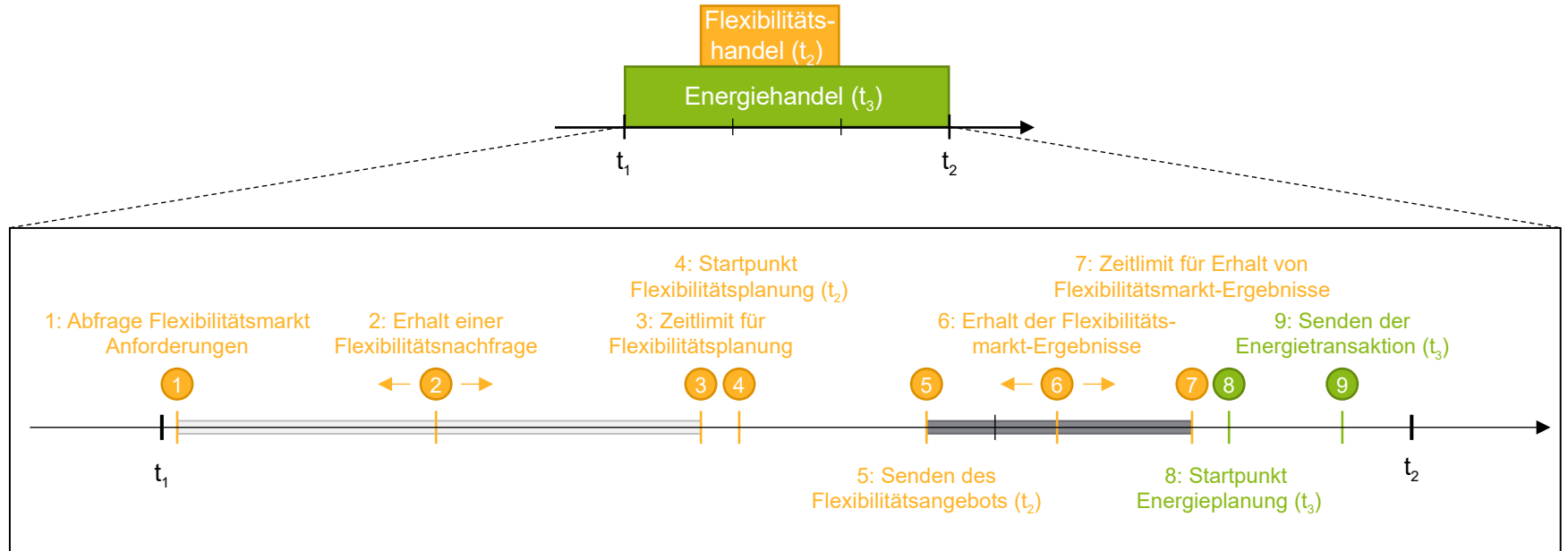
# Zeitlicher Ablauf: Energie- und Flexibilitätshandel

Ableitung von Anforderungen für den Planungsprozess des Prosumer-Agenten

- Handel für einen Erbringungszeitraum erstreckt sich über zwei Handelsperioden
- Der Flexibilitätshandel kann Auswirkungen auf den folgenden Energiehandel haben
- Strukturierung der Planungsprozesse des Prosumer-Agenten entsprechend des PEAK-Marktzyklus

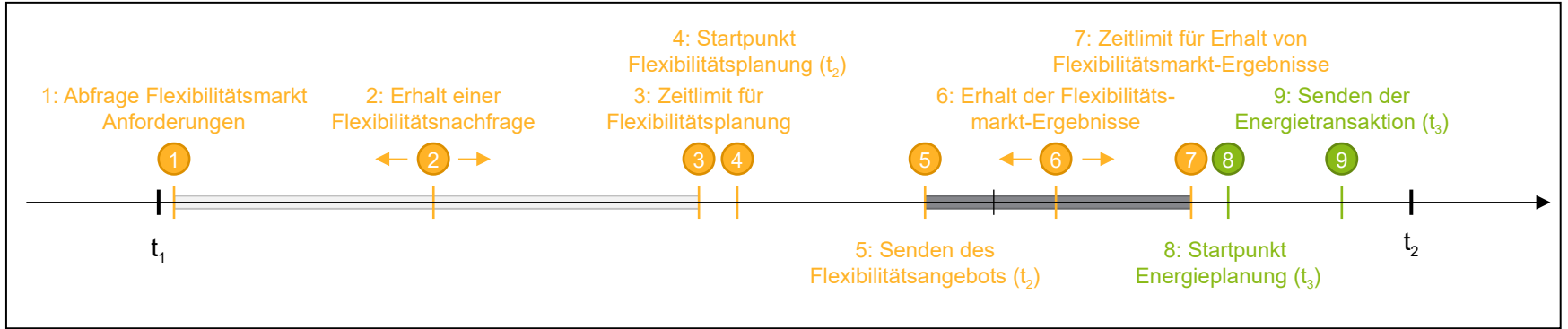


# Umsetzung des konsekutiven Planungsprozesses



# Umsetzung des konsekutiven Planungsprozesses

## Beispiele des Normalbetriebs



### Beispiel 1: Grüne Ampelphase

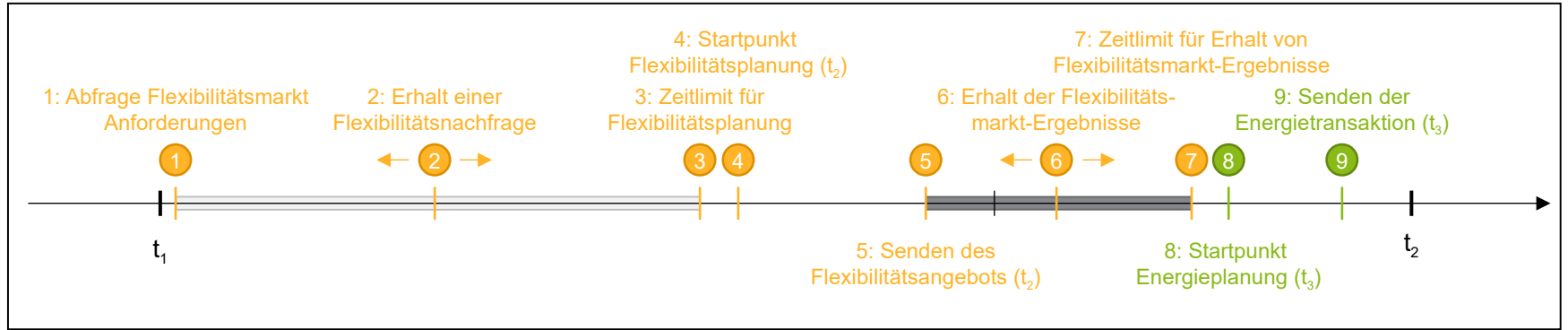


### Beispiel 2: Gelbe Ampelphase



# Umsetzung des konsekutiven Planungsprozesses

## Beispiele von Kommunikationsausfällen



Beispiel 3: Kein Empfang der Netzzustandsampel



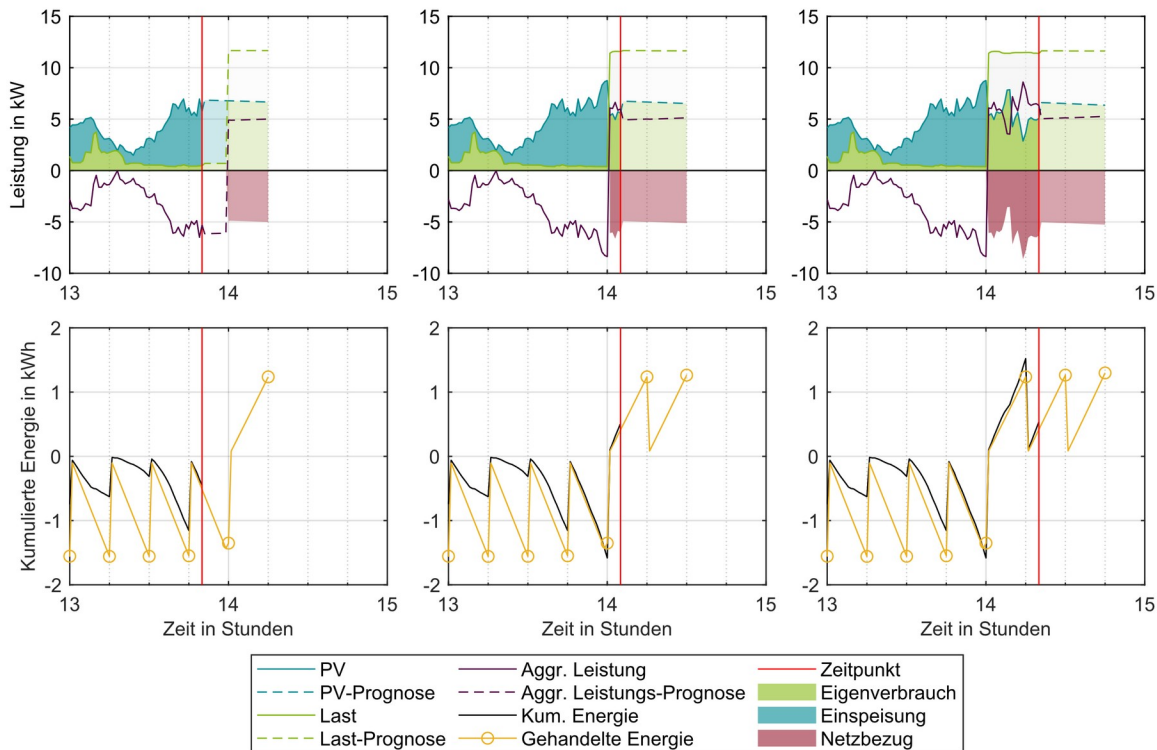
Beispiel 4: Kein Empfang von Flexibilitätsmarktergebnissen



# Echtzeit-Steuerungsprozess

Rollierende Abfolge der Planungs- und Echtzeitkontrollprozesse des Prosumer-Agenten

- Erstellung von Fahrplänen aus Last- und Einspeiseprognosen sowie mehreren Planungsstrategien
- Energiebilanz über Handelsperiode wird in Nachfrage oder Angebot umgewandelt
- Konsolidierender Fahrplan als Zielvorgabe für die Echtzeitsteuerung

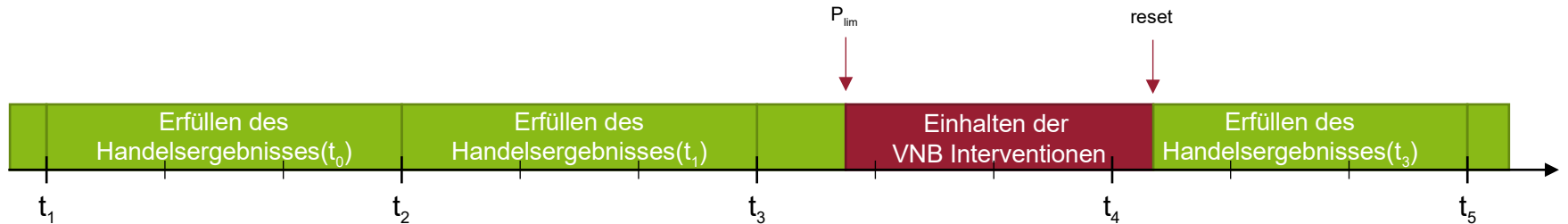
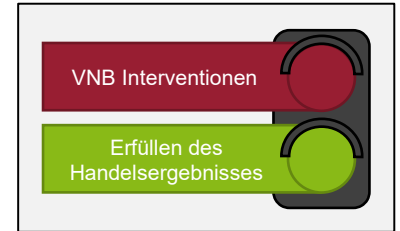


# Zeitlicher Ablauf: Aktive Netzführung

## Einführung der Smart Grid Netzampel

- Zusätzlich zum präventiven, marktorientiertem Netzengpassmanagement erfolgt ein kuratives, netzorientiertes Netzengpassmanagement durch ein Netzautomatisierungssystem
- Smart Grid Ampel zur Kommunikation von Leistungslimitierungen
- Last- und Einspeiselimitierung nach § 14a EnWG<sup>1</sup> bei kritischen Netzzuständen an ausgewählte Prosumer-Agenten

## Smart Grid Ampel

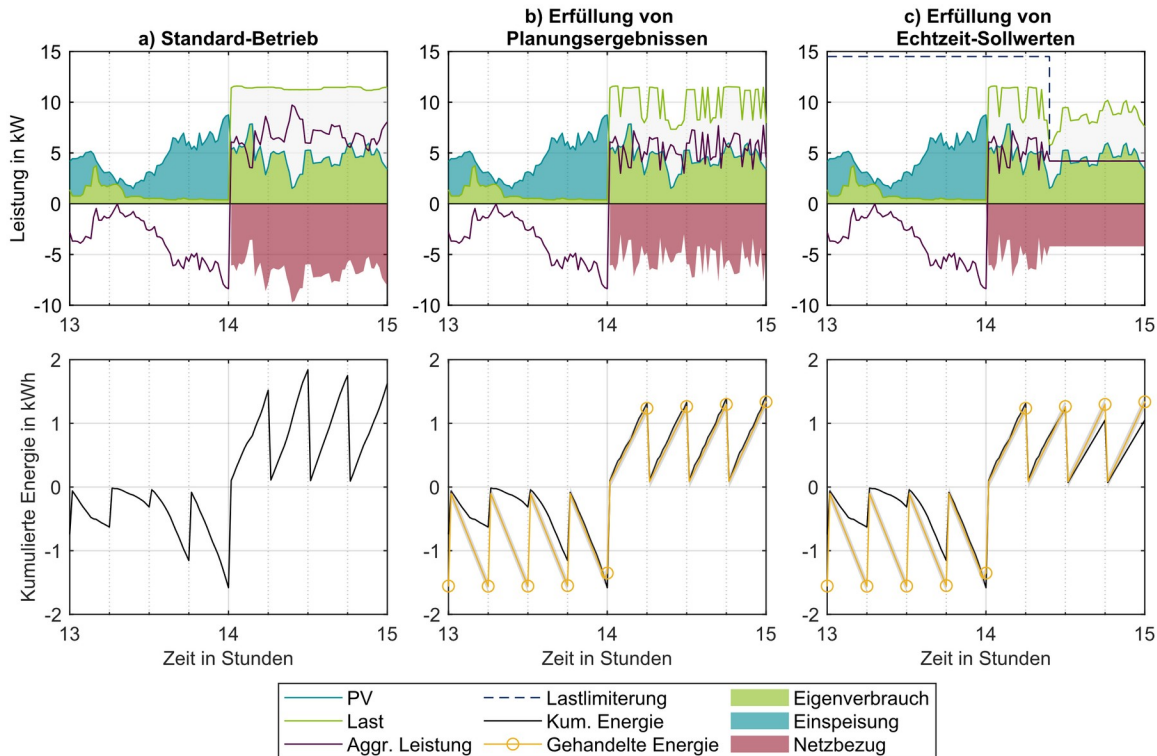




# Echtzeit-Steuerungsprozess

Beispielverläufe des Echtzeitsteuerungsprozesses mit verschiedenen Kontrollstrategien

- Echtzeitsteuerung basierend auf Planungsergebnissen oder Sollwertvorgaben
- Korrektur von Fahrplan-Abweichungen durch den Einsatz von in Echtzeit verfügbarer Flexibilität
- Berücksichtigung von Leistungsvorgaben des Netzbetreibers durch in Echtzeit verfügbarer Flexibilität



# 1. Motivation und Einleitung

# 2. Methode

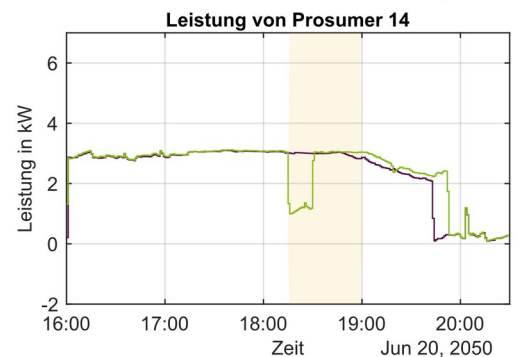
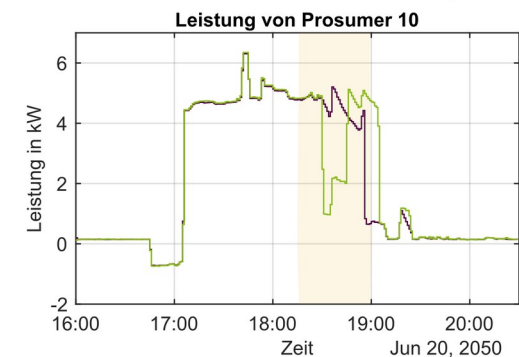
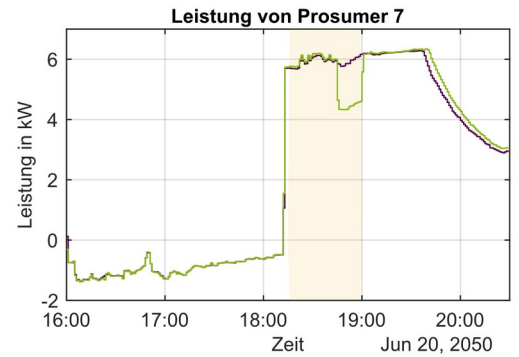
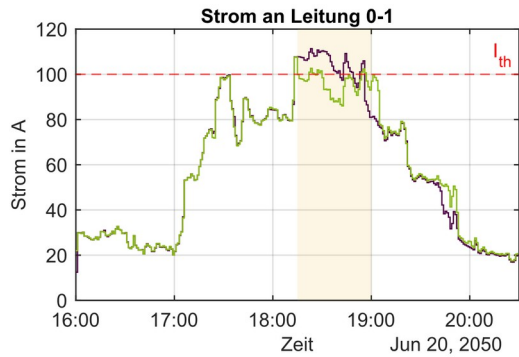
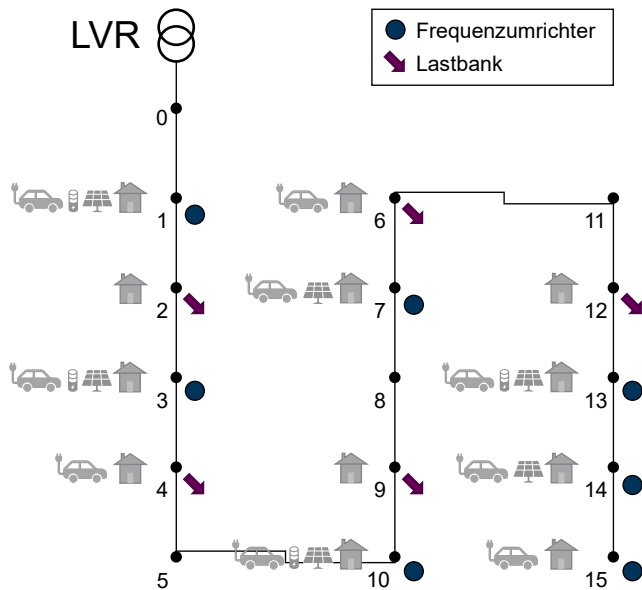
- Erweiterung des Energie-Agenten Frameworks
- Deterministischer Planungsablauf
- Echtzeit-Steuerungsprozess

# 3. Ergebnisse Feldtest

# 4. Fazit

# Feldtest-Ergebnisse

## Präventives Netzengpassmanagement



— Mit Flexibilitätshandel — Ohne Flexibilitätshandel — Aktivierter Flexibilitätsmarkt

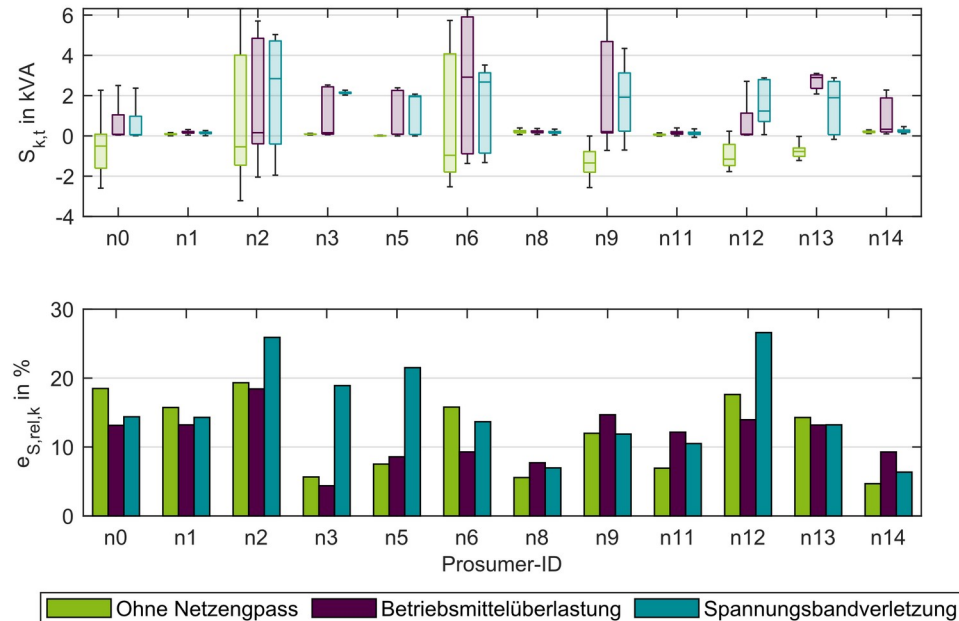
# Feldtest-Ergebnisse

## Scheinleistungsprognose

- Durchschnittlicher prozentualer Scheinleistungsprognosefehler von einem Prosumer-Agent :

$$e_{S,rel,k} = \begin{cases} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{N_t} \left| \frac{S_{k,t} - S_{k,t}^p}{S_{k,t}} \right| \cdot 100\% & S_{k,t} \geq S_n \\ \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{N_t} \left| \frac{S_{k,t} - S_{k,t}^p}{S_n} \right| \cdot 100\% & 0 \leq S_{k,t} < S_n \\ \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{N_t} \left| \frac{S_{k,t} - S_{k,t}^p}{0,85 \cdot P_{PV,r}} \right| \cdot 100\% & S_{k,t} < 0 \end{cases}$$

Anzahl Zeitschritte  
 gemessene Scheinleistung  
 prognostizierte Scheinleistung  
 fester Normierungswert (hier 4,2 kW<sup>1</sup>)  
 Nennleistung Photovoltaikanlage



# 1. Motivation und Einleitung

# 2. Methode

- Erweiterung des Energie-Agenten Frameworks
- Deterministischer Planungsablauf
- Echtzeit-Steuerungsprozess

# 3. Ergebnisse Feldtest

# 4. Fazit

# Fazit

- Generierung von Geboten oder Anfragen durch die Abschätzung der eigenen Energiebilanz und die Ermittlung lokal verfügbarer Flexibilitätspotenziale
  - Beitrag zum präventiven Netzengpassmanagement durch das Anbieten und Umsetzen von Flexibilität
  - Beitrag zum kurativen Netzengpassmanagement durch die Berücksichtigung von Regeleingriffen
- **Kombinierte Planungs- und Echtzeitsteuerung ermöglicht die netzdienliche und gleichzeitig ökonomisch vorteilhafte Teilnahme von Prosumer-Agenten an lokalen Energie- und Flexibilitätsmärkten**

## ➤ Kontakt

Martin Asman, M. Sc.

Forschungsgruppe Intelligente Netze und Flexibilitätsmanagement

📍 Bergische Universität Wuppertal  
Rainer-Gruenter-Str. 21, 42119 Wuppertal  
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik

✉ asman@uni-  
wuppertal.de  
☎ +49 202 439 1852





# Fahrplan-Inferenz des Prosumer-Agenten

## Zusammenspiel von Planung und Echtzeitkontrollprozessen

- „Mit einer Inferenz wird ein schlussfolgerndes Denken oder ein Prozess beschrieben; aus gegebenen Fakten und Regeln lassen sich Schlüsse ziehen“

