



# Netzführung bis zum Endkunden

## Vorteile, Konzepte, Grenzen

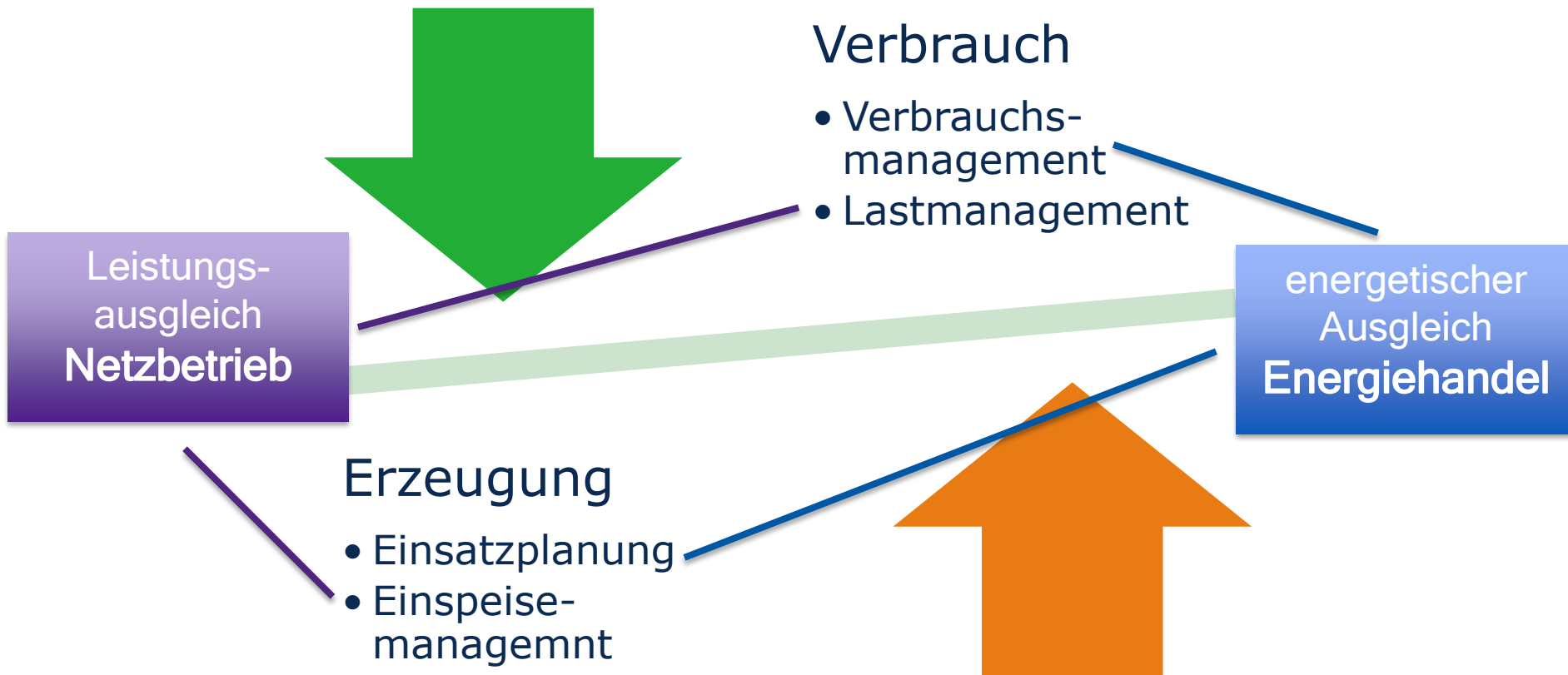


Tobias Heß

Gotha, 7.9.2016



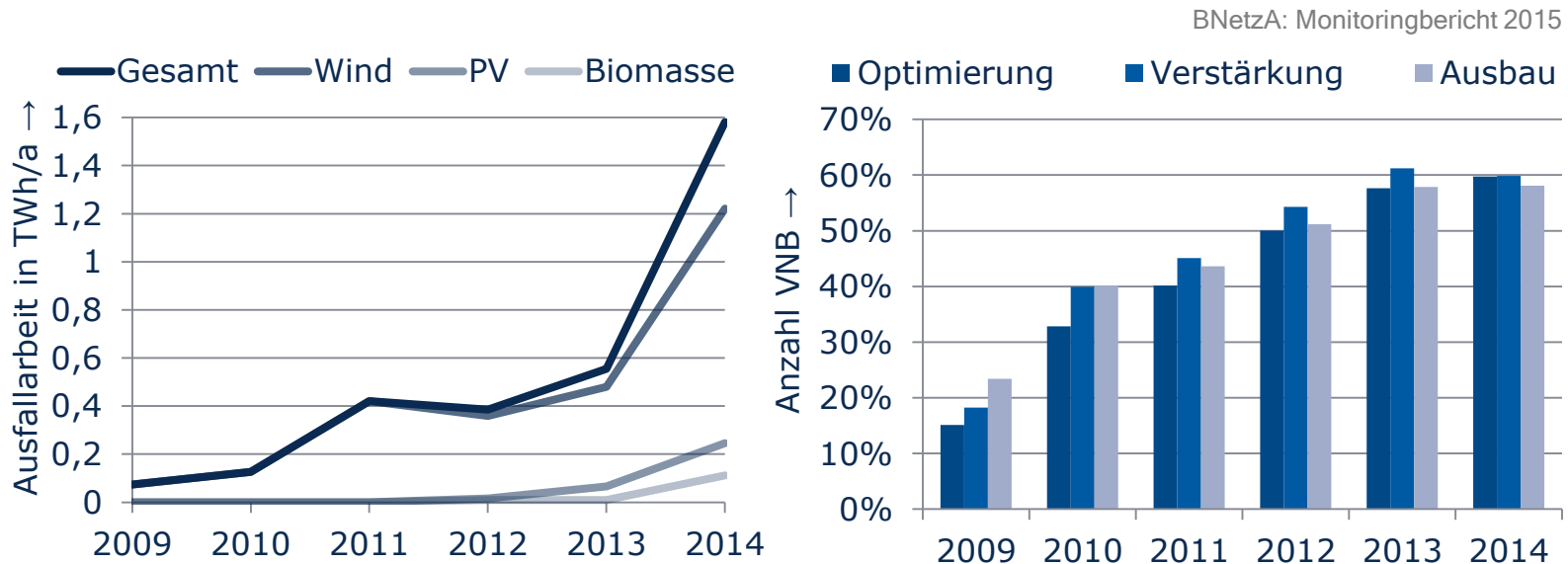
# Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch



# Herausforderung der Energiewende

## Verteilnetzbetreiber

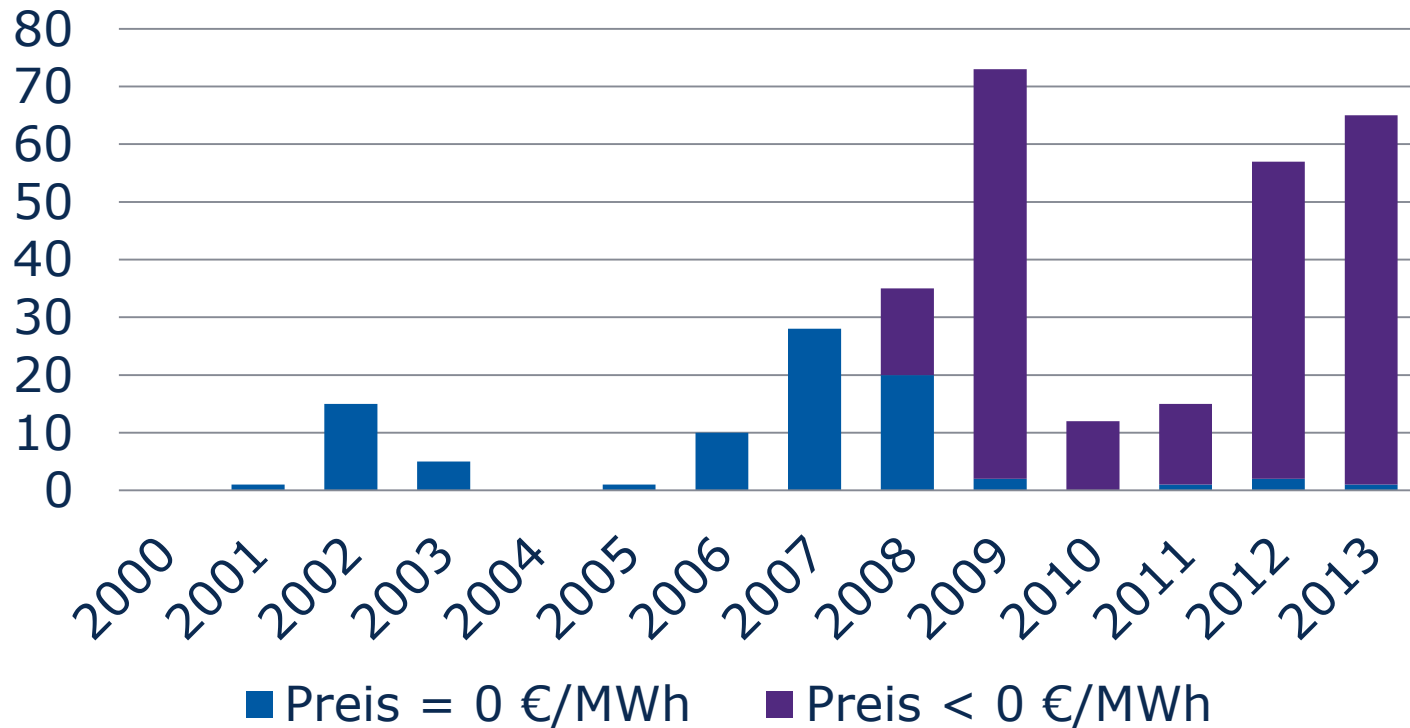
- Konventionelle Maßnahmen bei Netzengpässen:
  - Einspeisemanagement nach § 11 EEG / § 14 EnWG
  - Netzoptimierung/-verstärkung/-ausbau



# Herausforderung der Energiewende

## Energiehändler

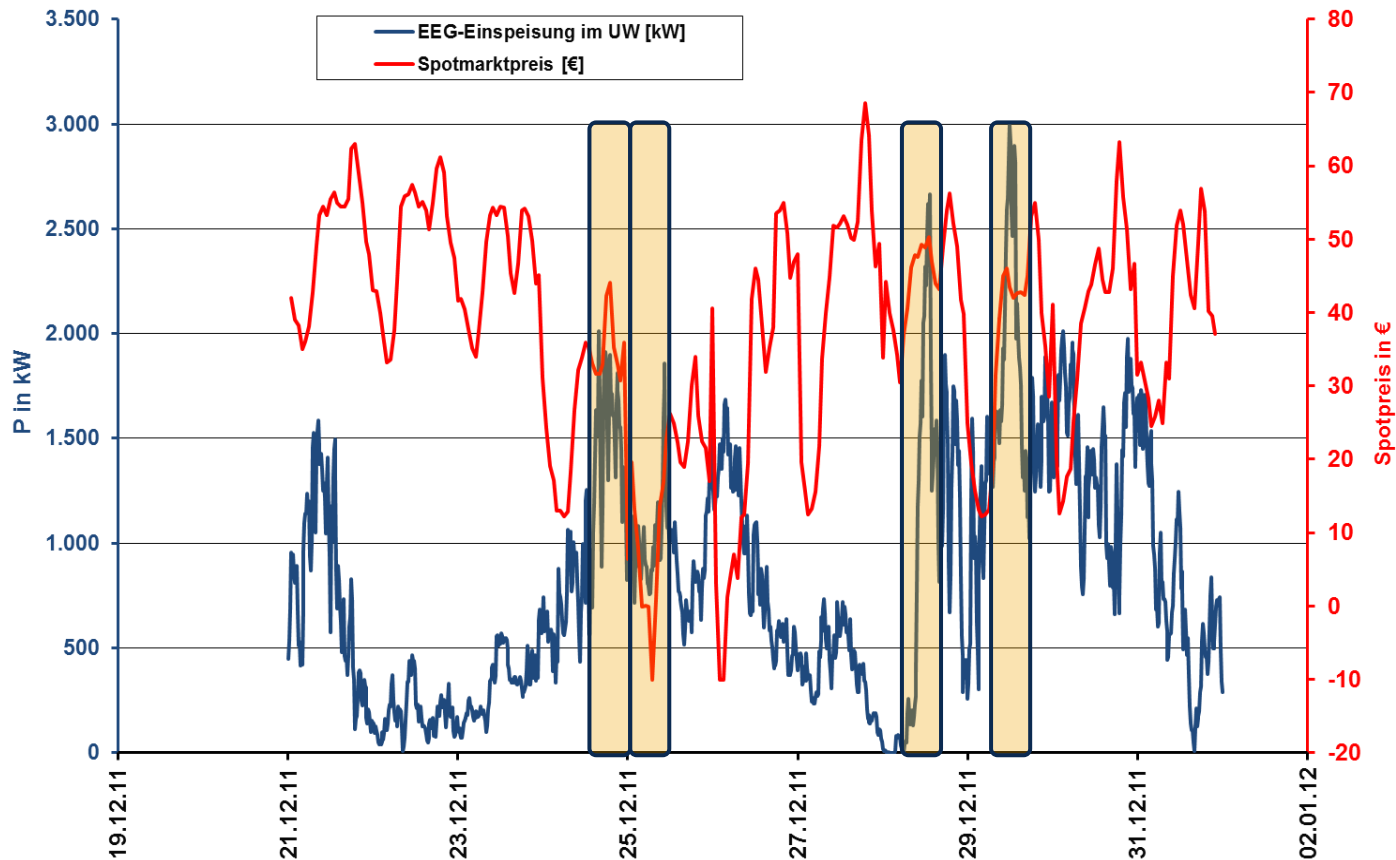
Anzahl von Tagen mit negativen Preisen in der EEX-/EPEX-Day-ahead-Auktion



Agora Energiewende | Negative Strompreise: Ursachen und Wirkungen, 2014

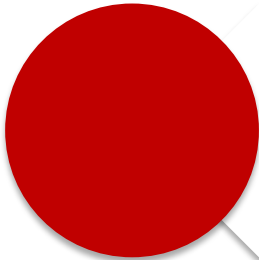
# Herausforderung der Energiewende

## Markt gegen Netz

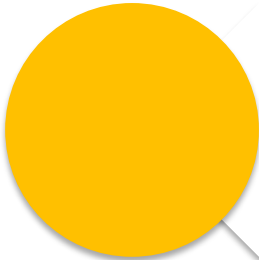


# Netzdienliche Flexibilitäten in *Smart Grids*

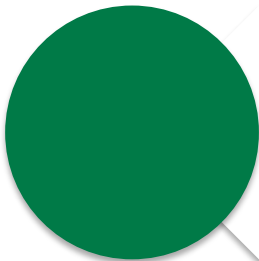
## BDEW Ampelmodell



- Netzphase – Gefährdung der Systemstabilität
- Netzbetreiber greift unmittelbar regelnd und steuernd in Betriebsmittel und Markt ein

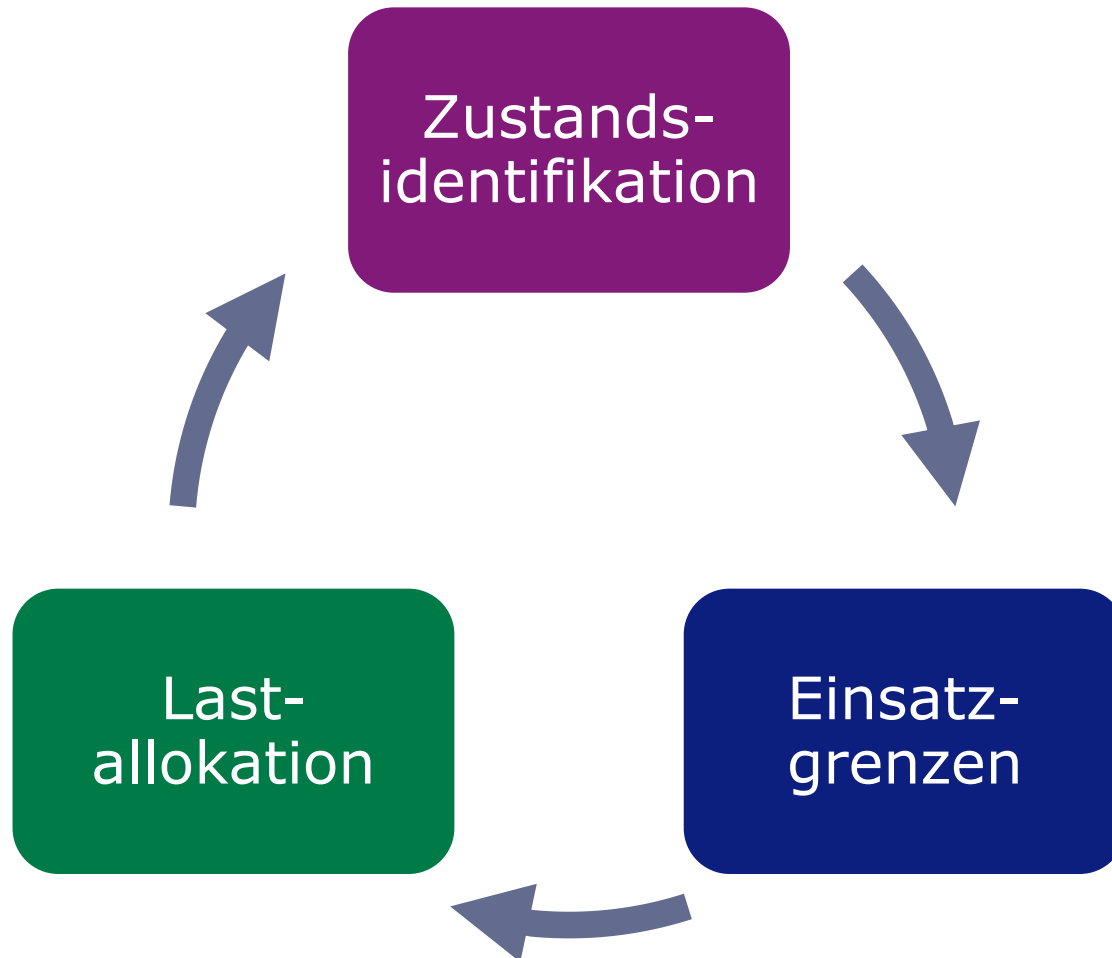


- Potenzieller oder tatsächlicher Netzengpass im definierten Netzsegment
- Abruf netzdienlicher Flexibilität durch Netzbetreiber



- Marktphase – keine Einschränkungen im Stromnetz
- Alle Marktprodukte können angeboten und nachgefragt werden
- **„Der Netzbetreiber beobachtet den Netzzustand und greift nicht in den Markt ein.“**

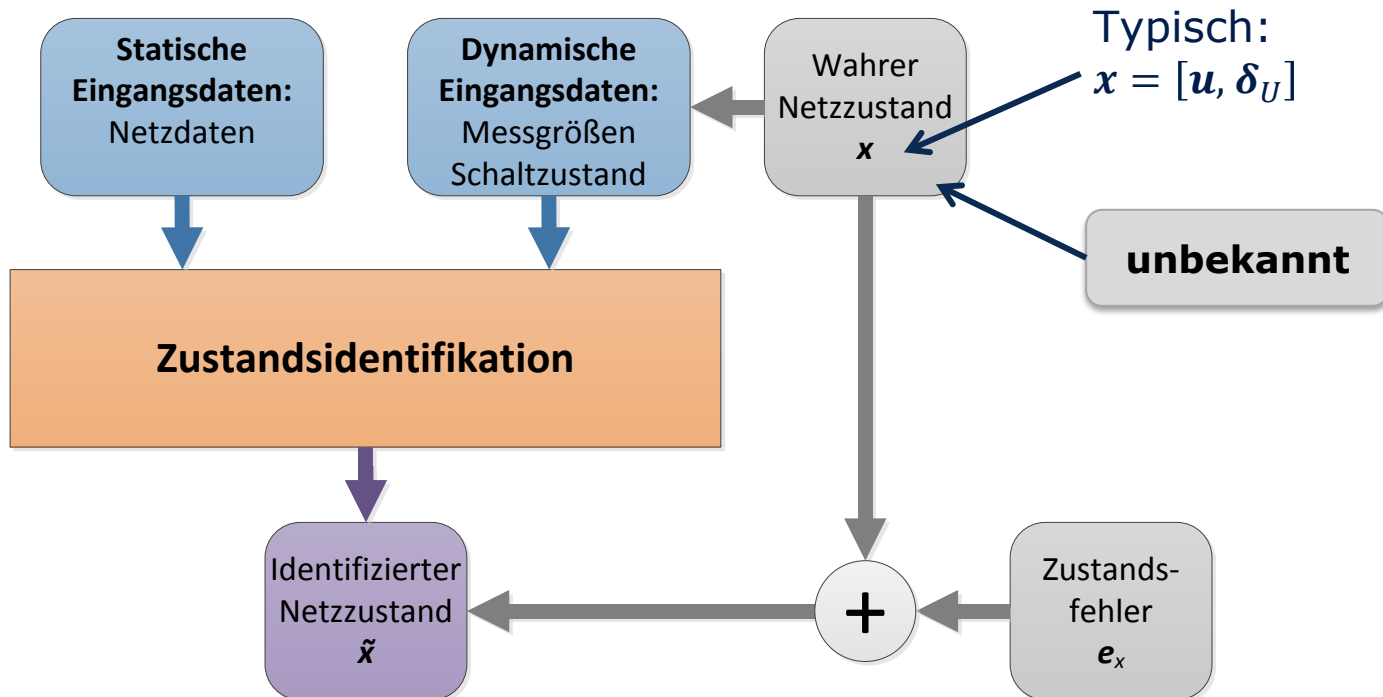
# Konzepte



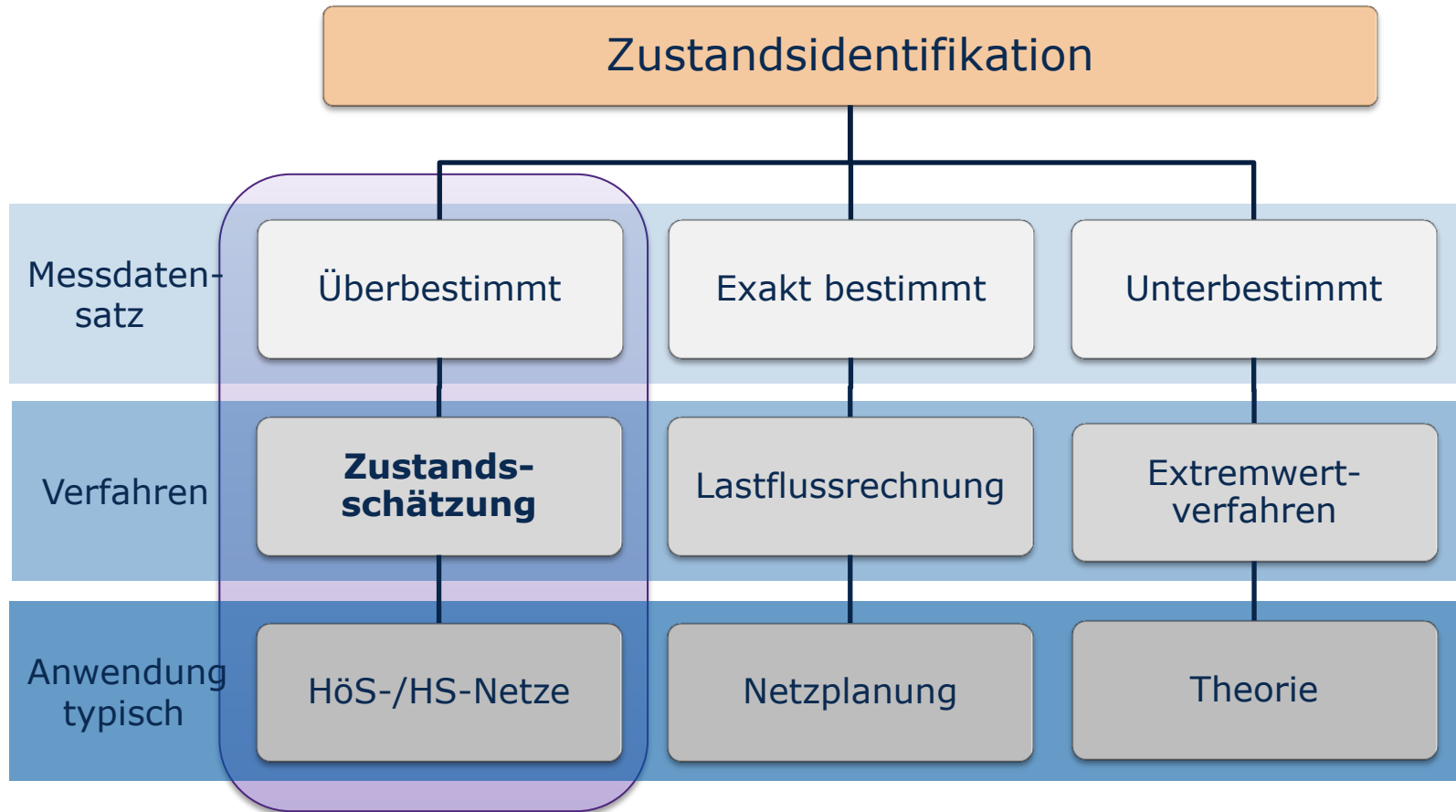
# Zustandsidentifikation

## Netzzustand

- Zustandsgrößen  $x$  eines Systems stellen einen minimalen Satz von Variablen dar, mit deren Hilfe alle anderen Größen des Systems bestimmt werden können



# Zustandsidentifikation



# Zustandsidentifikation

## Zustandsschätzung – Stand der Technik

- Gauß-Newton-Verfahren:
  - Methode der kleinsten Quadrate bei nichtlinearen Ausgleichsproblemen
  - Bestimmung des wahrscheinlichsten Systemzustandes durch Minimierung der gewichteten Fehlerquadrate von gemessenen Prozessgrößen  $\mathbf{z}$  und geschätzten Prozessgrößen  $\mathbf{h}(\tilde{\mathbf{x}})$

$$\min \sum_{i=1}^m w_i \cdot (z_i - h_i(\tilde{\mathbf{x}}))^2 \quad \text{mit } \tilde{\mathbf{x}} = [\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n]^T$$

Wichtung nach „Qualität“

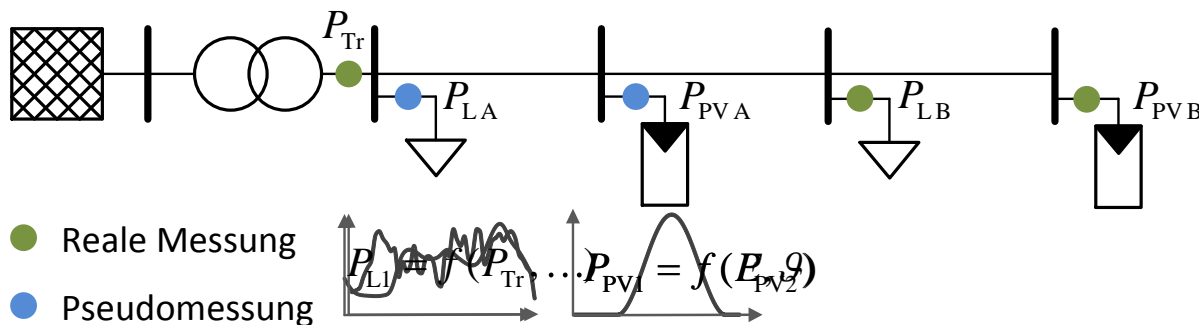
Notwendige Bedingung:  
**System ist beobachtbar!**

MS-/NS-Netze messtechnisch kaum erfasst, d.h.  
**nicht beobachtbar!**

# Zustandsidentifikation

## Pseudomessungen (PM)

- Generierung von Pseudomessungen:
  - Leistungsbezug von Kundenanlagen:
    - Lastprofile
    - Historische Lastgänge
    - Ableiten aus anderen Prozessgrößen (z.B. Trafoleistung)
  - Leistungseinspeisung von Erzeugungsanlagen:
    - Erzeugerprofile
    - Wetterdaten
    - Korrelation mit anderen Einspeisern



# Zustandsidentifikation

## Positionierung von Messgeräten

### Methodik

#### I. Sensitivitätsanalyse

- Bestimmung der Sensitivität relevanter Prozessgrößen bezüglich einzelner Netzknoten
- Vorauswahl der „kritischen“ Netzknoten

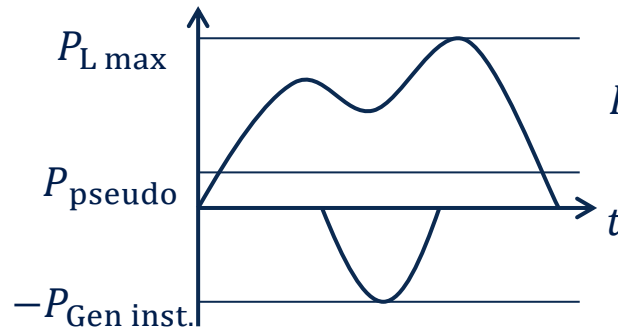
#### II. Lösen des kombinatorischen Optimierungsproblems

- Optimierungsaufgabe: min relevante Schätzfehler
- Unter Nebenbedingung: Beobachtbarkeit gegeben

# Zustandsidentifikation

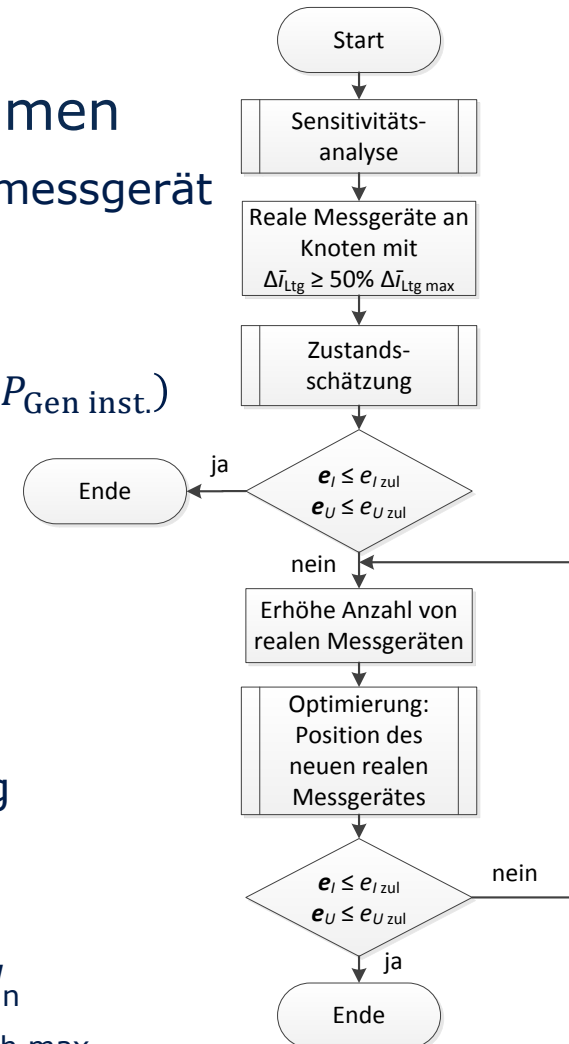
## Positionierung von Messgeräten - Annahmen

- Knoten ohne reales Messgerät besitzen Pseudomessgerät
- Statische Pseudomesswerte:



$$P_{\text{pseudo}} = 0,5 \cdot (P_{L \text{ max}} - P_{\text{Gen inst.}})$$

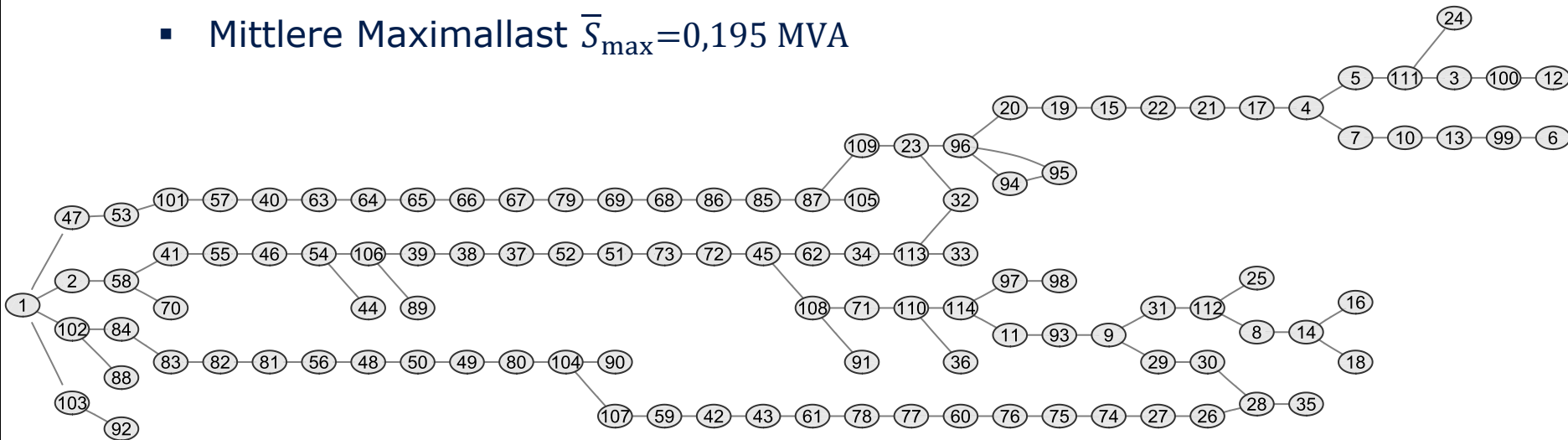
- Betrachtung mehrerer Lastflusszenarien:
  - Extremum 1: 100 % Last | 0 % Erzeugung
  - Extremum 2: 0 % Last | 100 % Erzeugung
  - 10x zufällige Auslastung/Erzeugung
- Zulässige Schätzfehler:
  - Spannungsbetragsfehler:  $e_{U \text{ zul}} = 1 \% \text{ von } U_n$
  - Strombetragsfehler:  $e_{I \text{ zul}} = 5 \% \text{ von } I_{\text{th max}}$



# Zustandsidentifikation

## Positionierung von Messgeräten - Beispiel

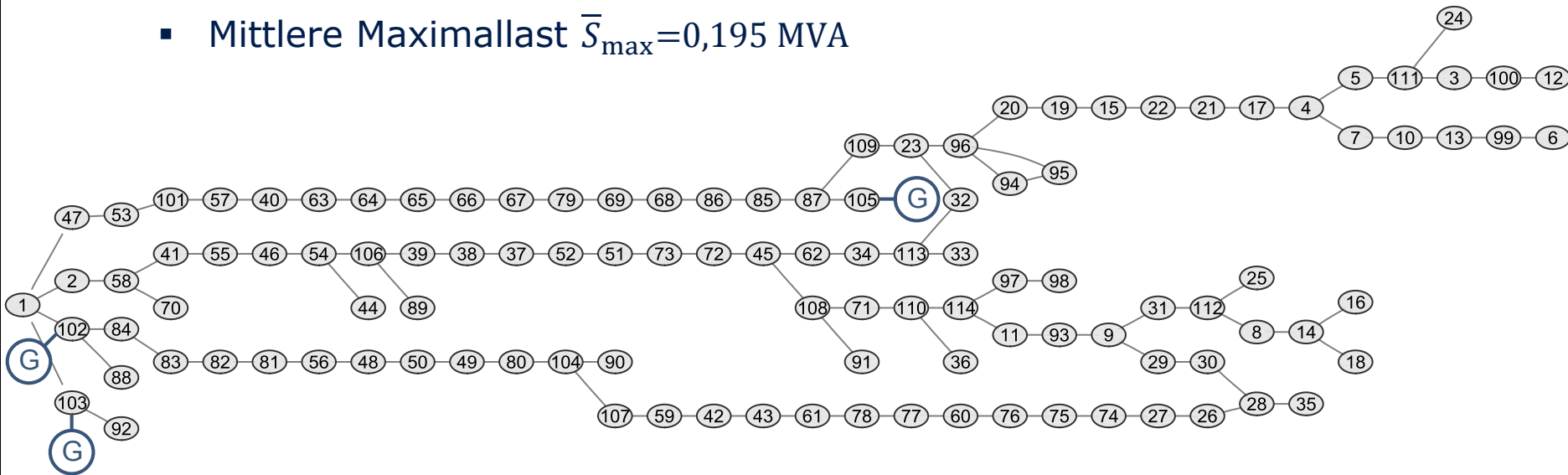
- 20 kV-Mittelspannungsnetz mit 118 Knoten und 119 Kanten
- Erzeugungsanlagen mit  $S_r \geq 5$  MVA an Knoten 102, 103 und 105
- Ersatznetzlast an Knoten 23 mit  $S_{\max}=1,78$  MVA
- Mittlere Maximallast  $\bar{S}_{\max}=0,195$  MVA



# Zustandsidentifikation

## Positionierung von Messgeräten - Beispiel

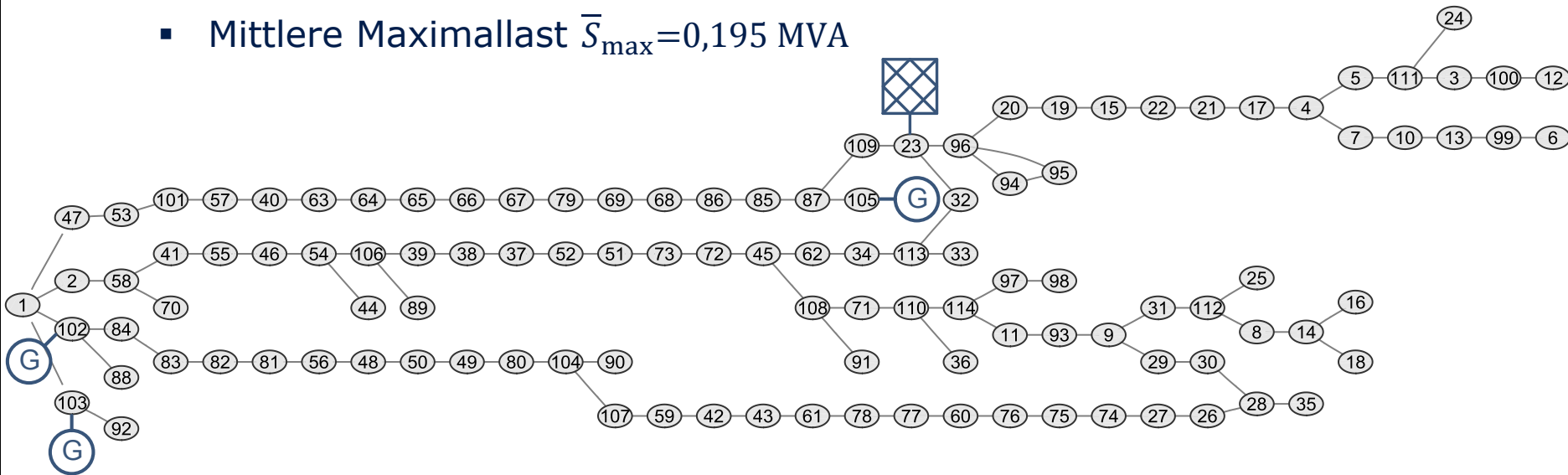
- 20 kV-Mittelspannungsnetz mit 118 Knoten und 119 Kanten
- Erzeugungsanlagen mit  $S_r \geq 5$  MVA an Knoten **102**, **103** und **105**
- Ersatznetzlast an Knoten 23 mit  $S_{\max}=1,78$  MVA
- Mittlere Maximallast  $\bar{S}_{\max}=0,195$  MVA



# Zustandsidentifikation

## Positionierung von Messgeräten - Beispiel

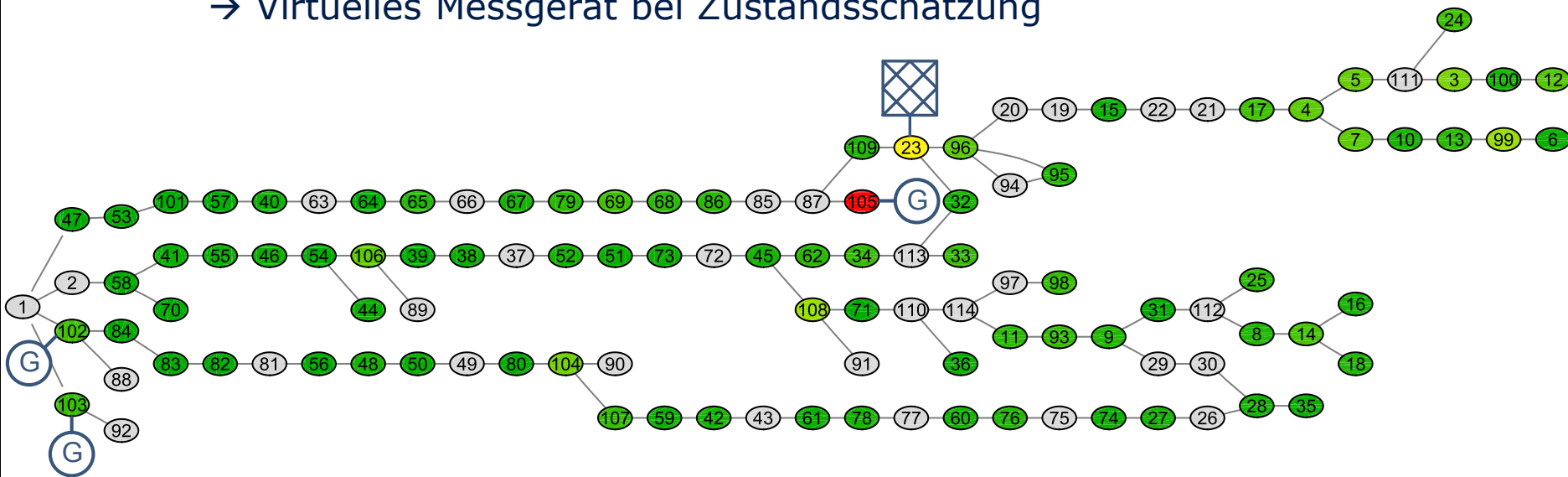
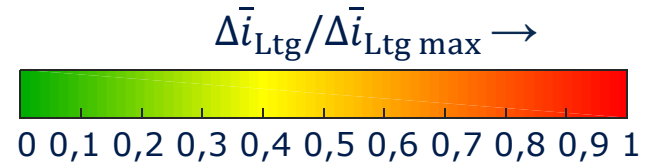
- 20 kV-Mittelspannungsnetz mit 118 Knoten und 119 Kanten
- Erzeugungsanlagen mit  $S_r \geq 5$  MVA an Knoten **102**, **103** und **105**
- Ersatznetzlast an Knoten **23** mit  $S_{\max}=1,78$  MVA
- Mittlere Maximallast  $\bar{S}_{\max}=0,195$  MVA



# Zustandsidentifikation

## Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

- Linearisierungspunkt:**  
 Mittlere Auslastung
- Graue Knoten:**  
 keine Last/Erzeugung angeschlossen  
 → Virtuelles Messgerät bei Zustandsschätzung



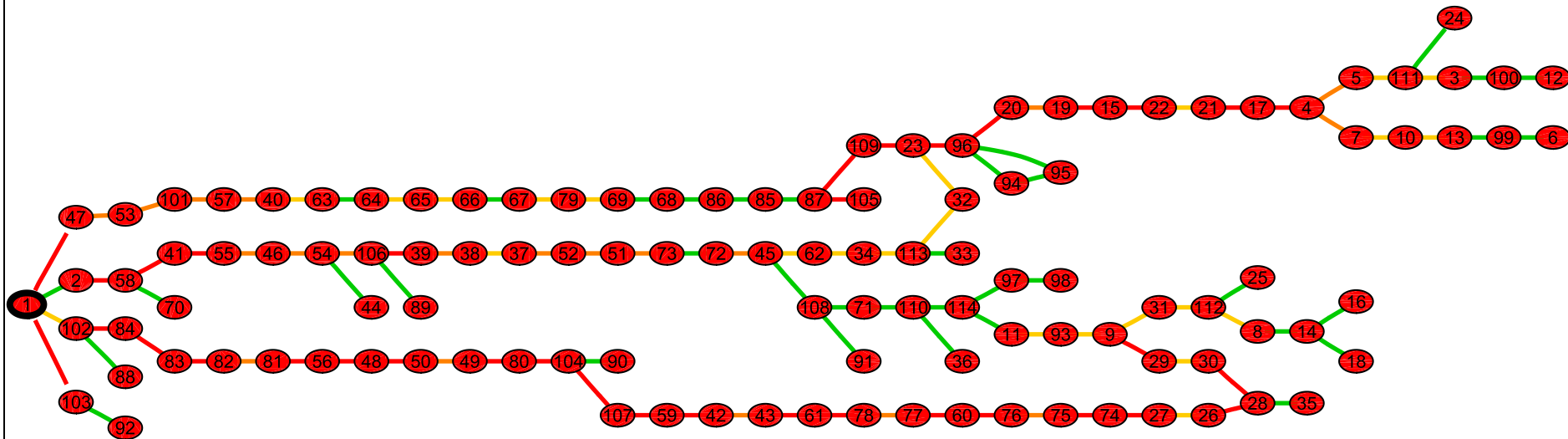
# Zustandsidentifikation

## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1**

- Anzahl Kantenmessgeräte:



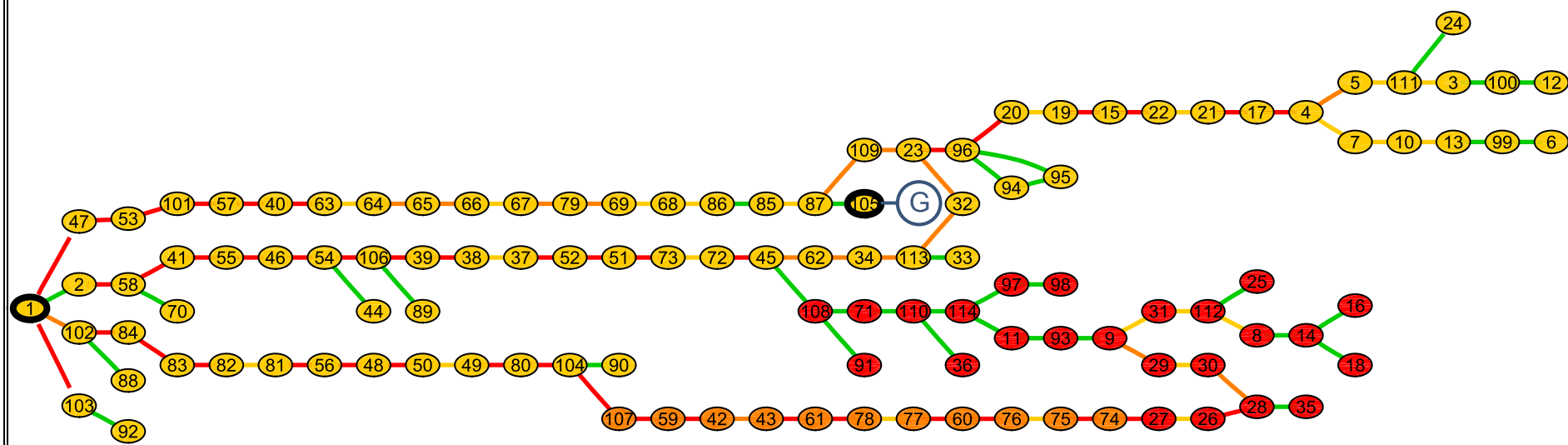
# Zustandsidentifikation

## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2**

- Anzahl Kantenmessgeräte:



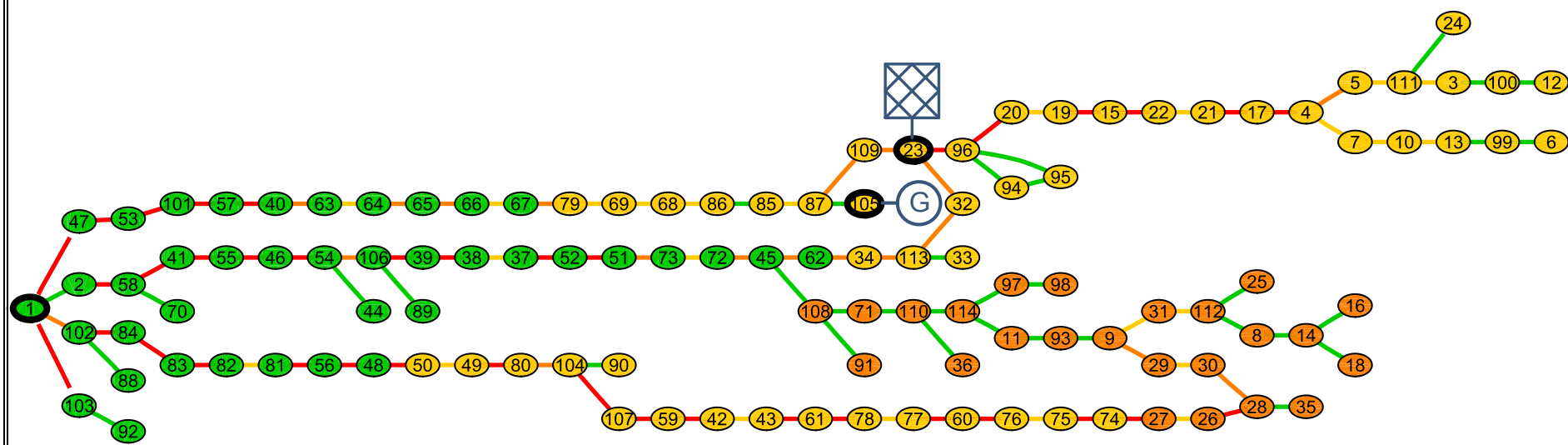
# Zustandsidentifikation

## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3**

- Anzahl Kantenmessgeräte:



# Zustandsidentifikation

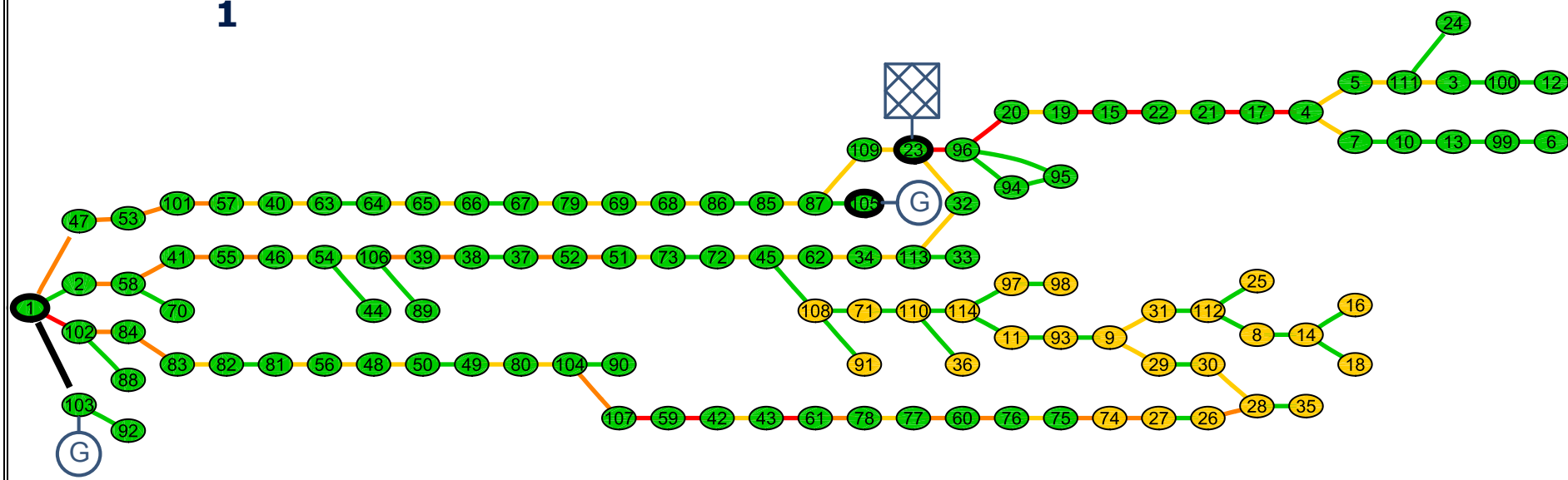
## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3**

- Anzahl Kantenmessgeräte:

**1**



# Zustandsidentifikation

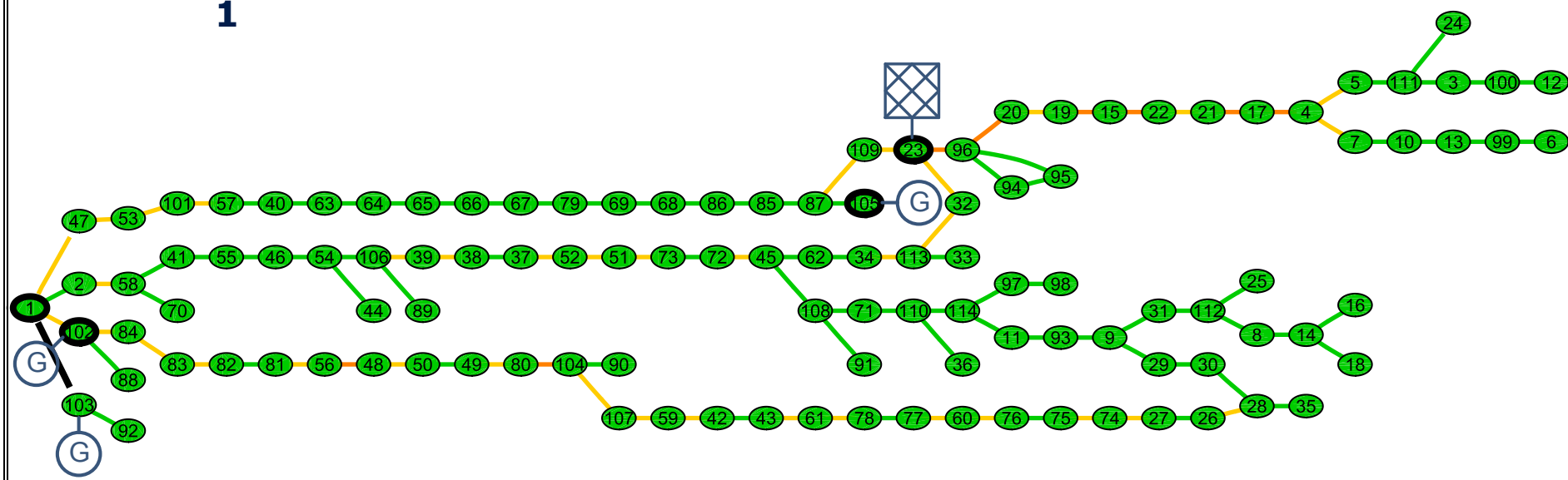
## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3 ... 4**

- Anzahl Kantenmessgeräte:

**1**



# Zustandsidentifikation

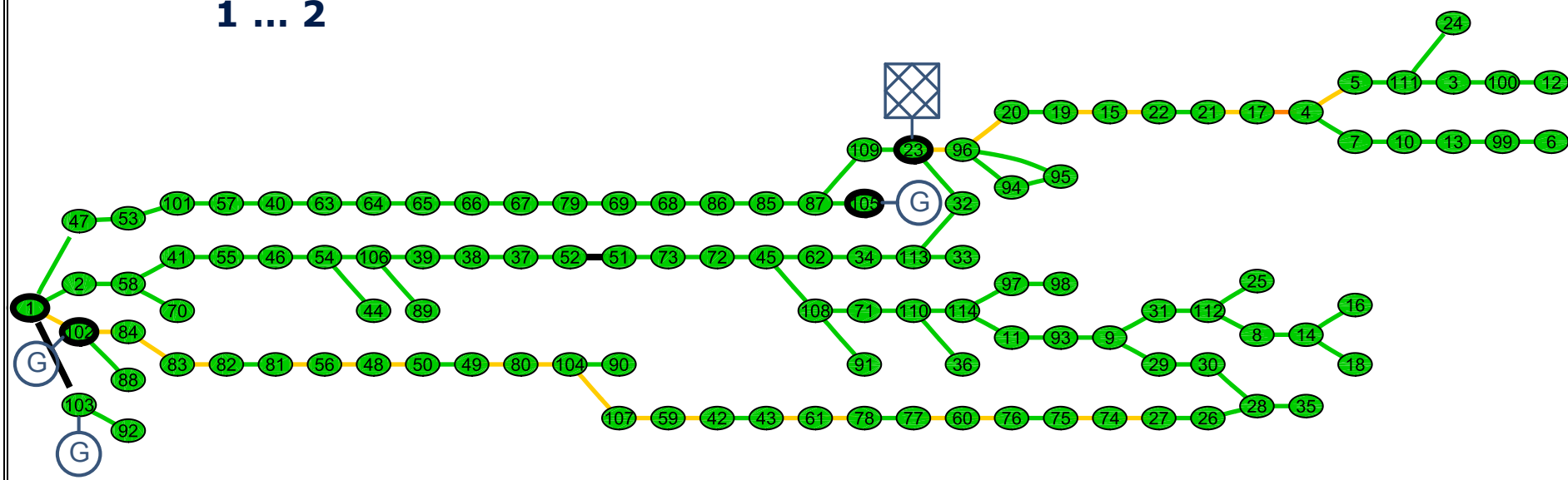
## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3 ... 4**

- Anzahl Kantenmessgeräte:

**1 ... 2**



# Zustandsidentifikation

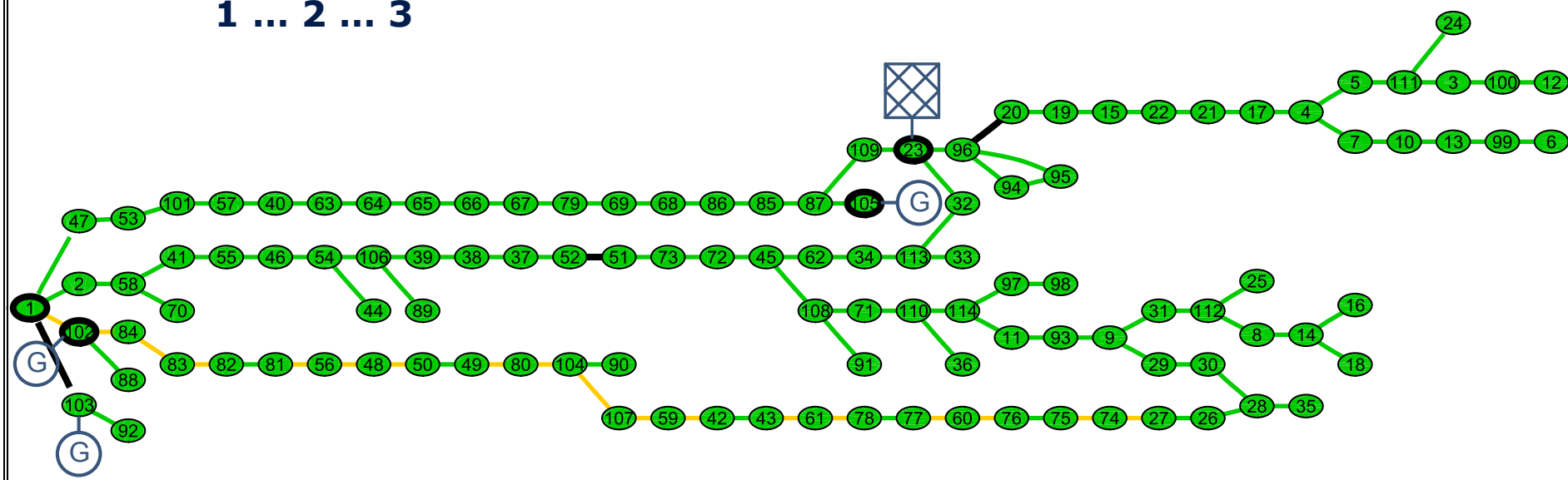
## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3 ... 4**

- Anzahl Kantenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3**



# Zustandsidentifikation

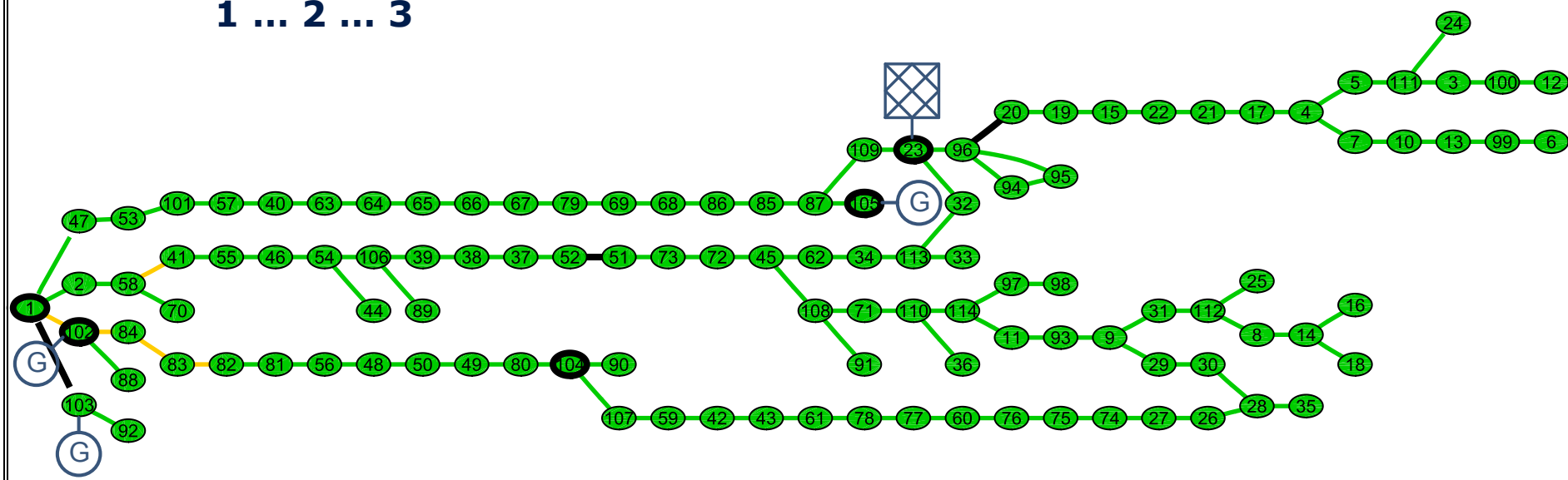
## Schritte der Optimierung

- Anzahl Knotenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5**

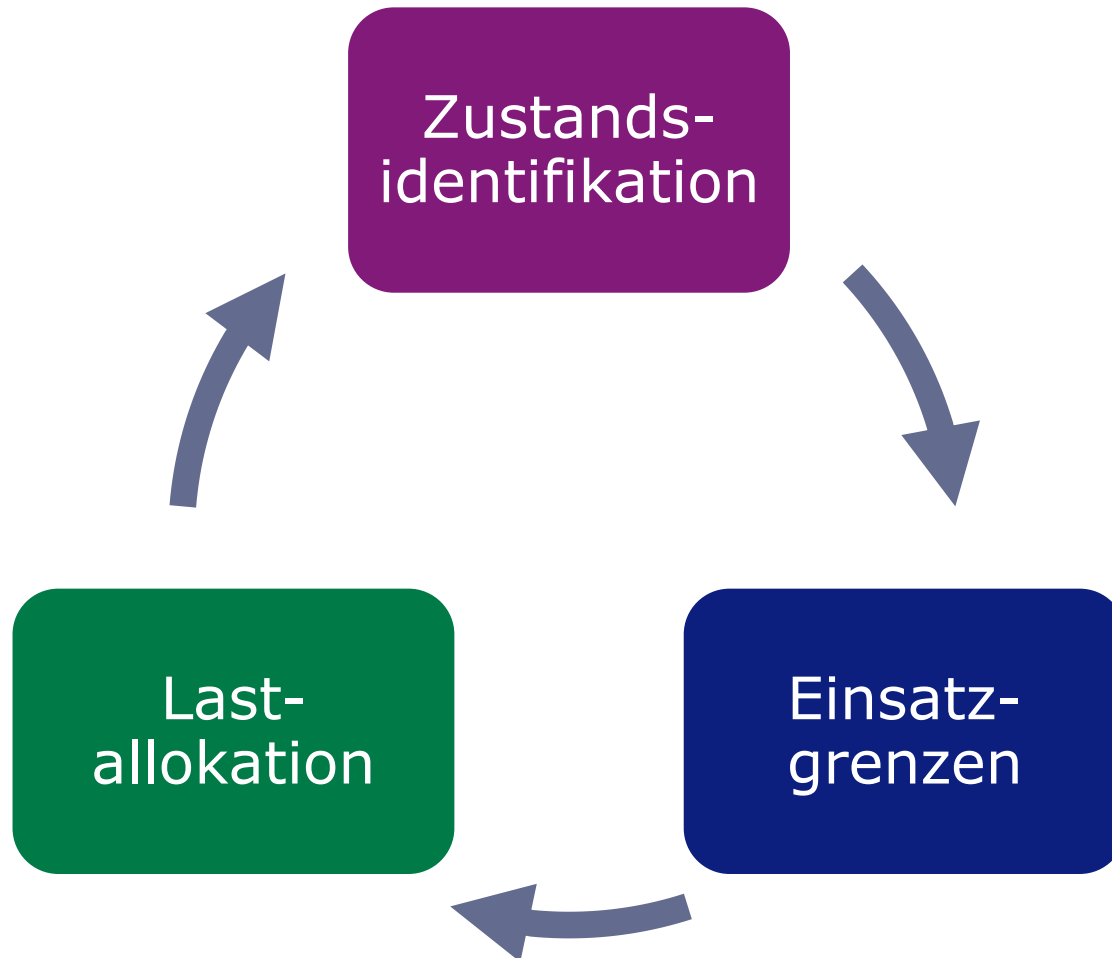
- Anzahl Kantenmessgeräte:

**1 ... 2 ... 3**



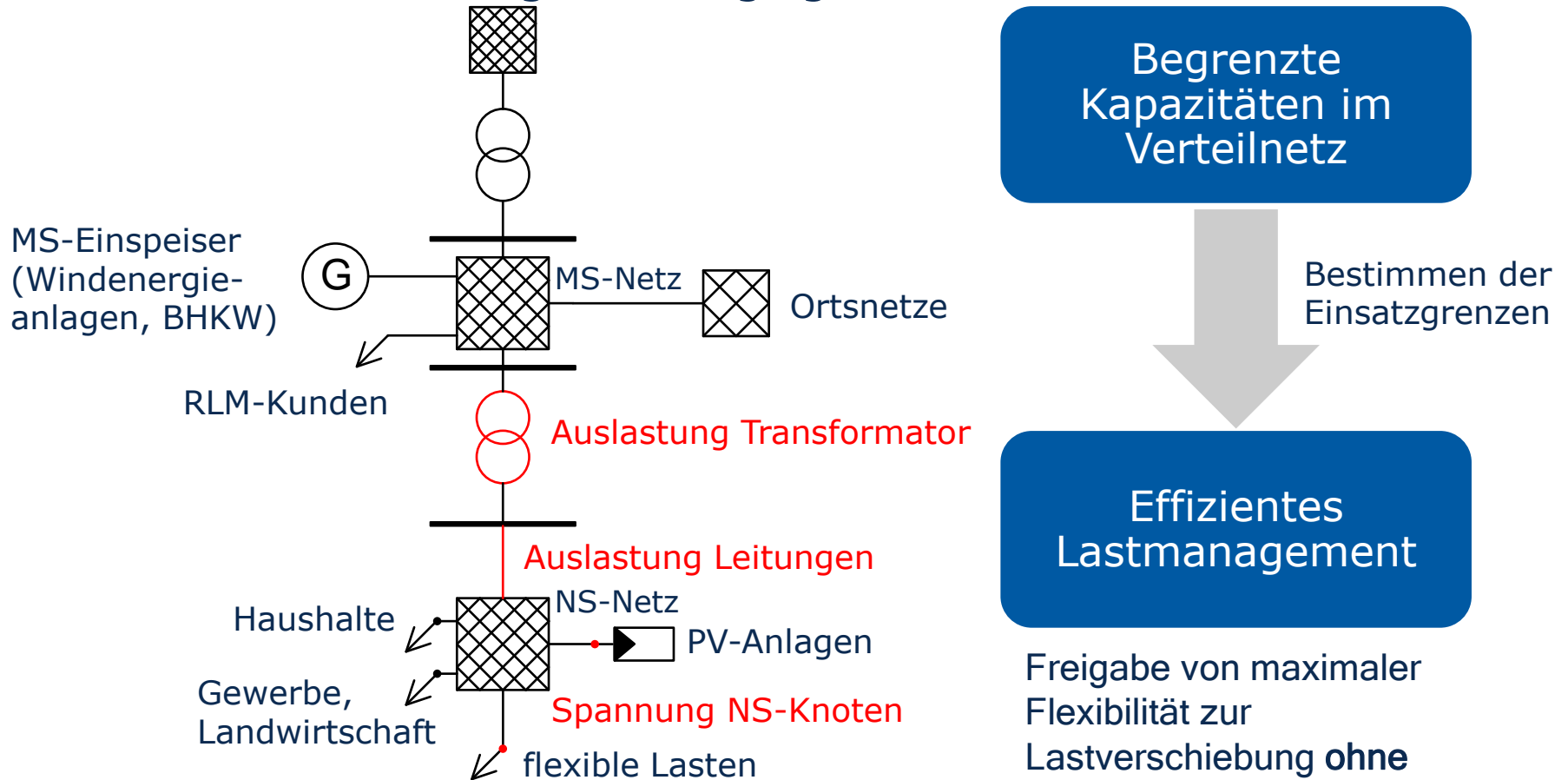


# Konzepte



# Einsatzgrenzen

## Motivation – Ausgestaltung „gelbe Phase“



# Einsatzgrenzen

## Definition

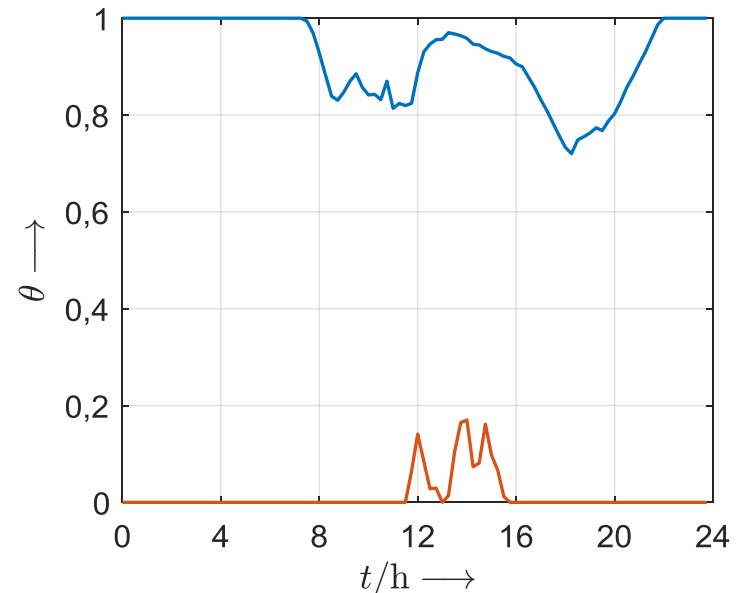
### Obere Einsatzgrenze $\theta_o$

- Maximal zuschaltbare Leistung aus steuerbaren Lasten bezogen auf inst. Leistung
- Minimale Spannung, max. Auslastung

### Untere Einsatzgrenze $\theta_u$

- Mindestens zuzuschaltende Leistung aus steuerbaren Lasten bezogen auf inst. Leistung
- Maximale Spannung, max. Auslastung (umgekehrte Leistungsflussrichtung)

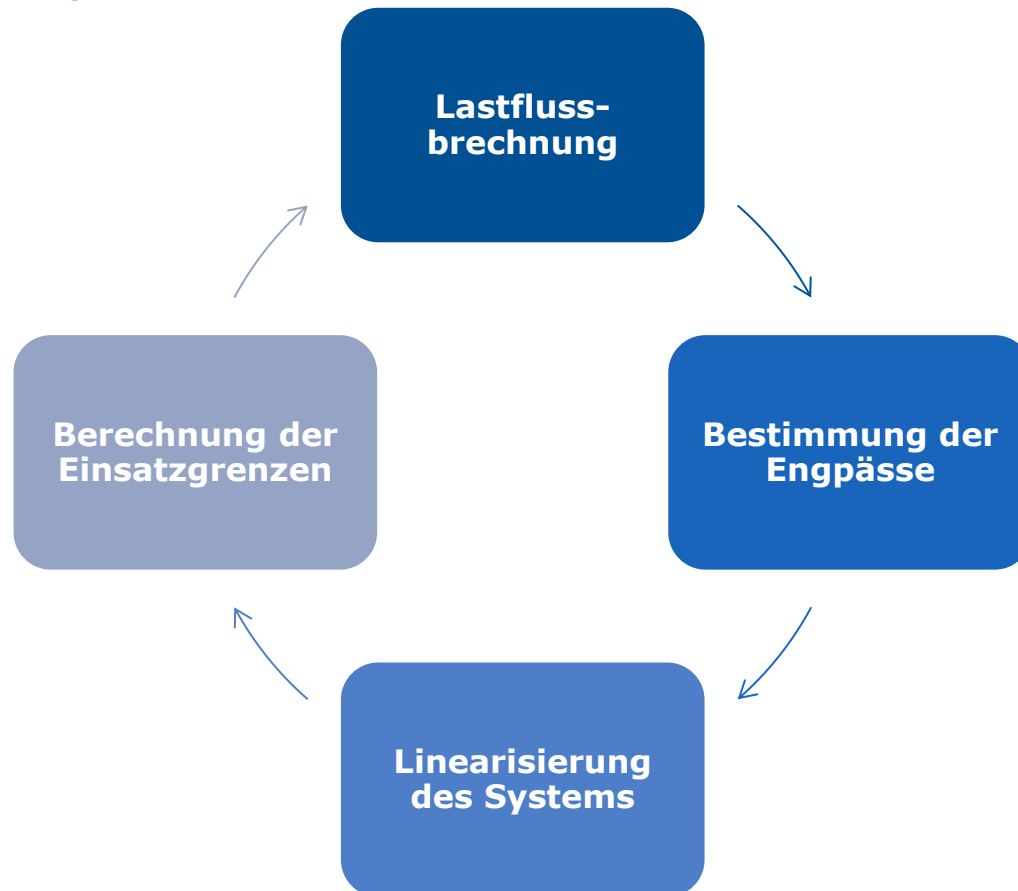
Exemplarischer Zeitverlauf der Einsatzgrenzen



— obere Einsatzgrenze  
— untere Einsatzgrenze

**BNE Positionspapier Flexibilitätsverordnung (25.7.2016)  
"Beschränkungsvorgabe"**

# Einsatzgrenzen Berechnung



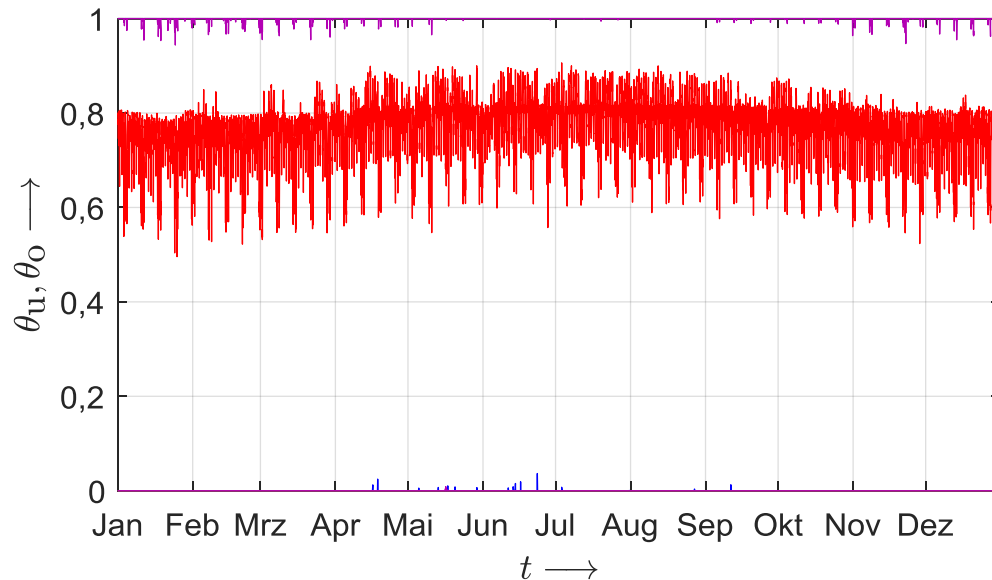
# Einsatzgrenzen

## Berechnung



# Einsatzgrenzen

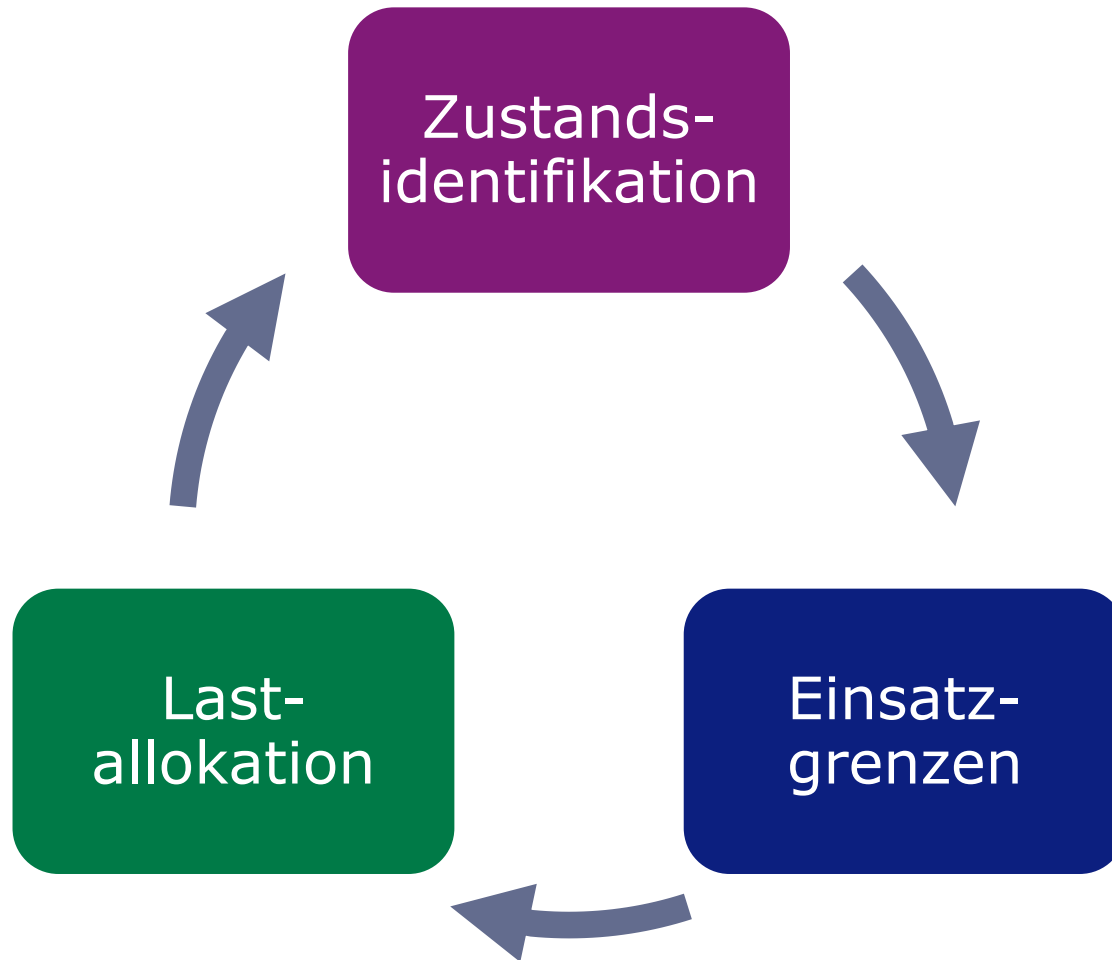
## Beispiel



Netz	$\theta_{u m}$	$\theta_{o m}$
A	0	0,7731
B	$7,1 \cdot 10^{-6}$	1
C	0	1
D	$5,2 \cdot 10^{-7}$	0,9999
Ges.	$1,6 \cdot 10^{-6}$	0,9550

Deutliche Abhängig von den lokalen Gegebenheiten der Netze  
(Scheinleistung Ortsnetztransformator, Position der flexiblen Last im Netz)

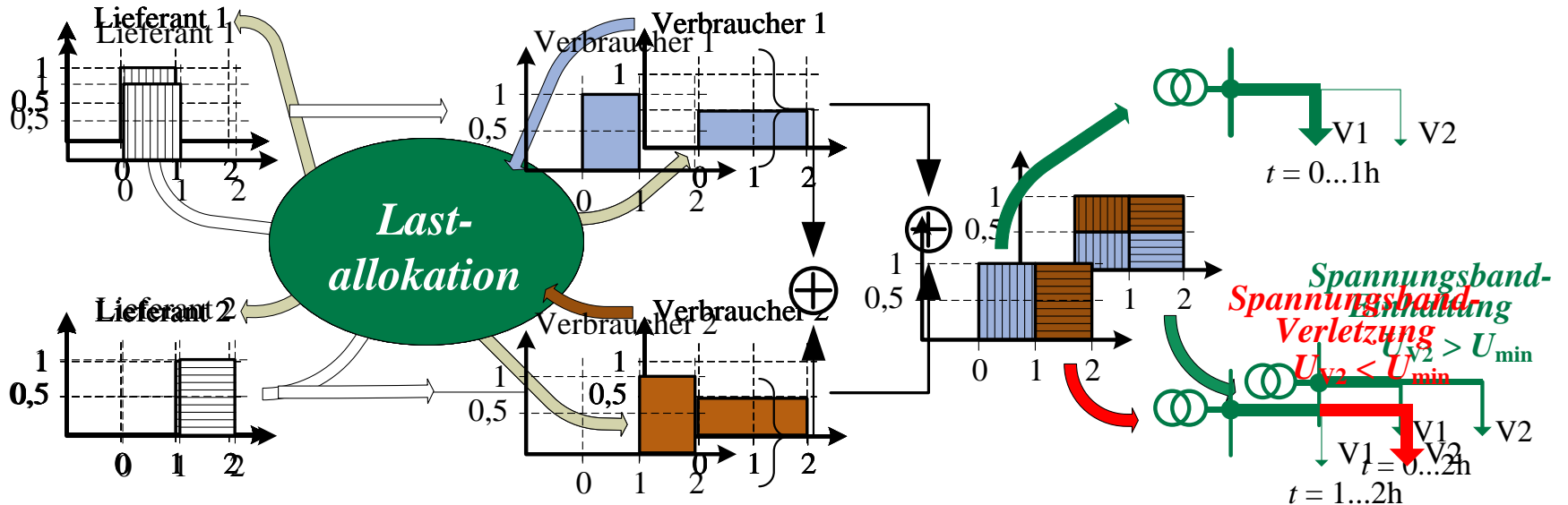
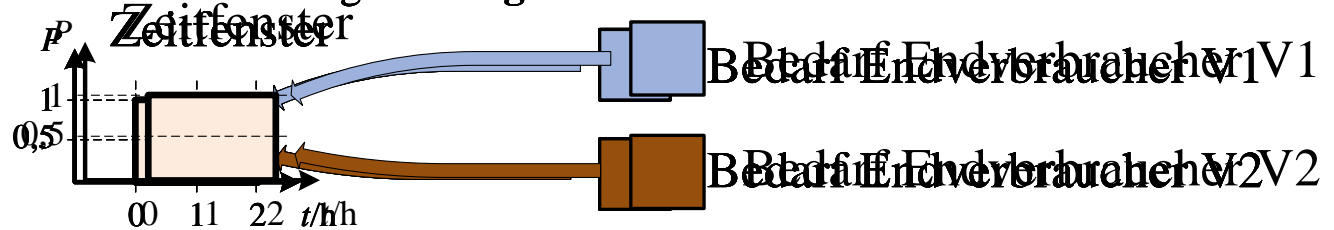
# Konzepte



# Lastallokation

## Motivation

**Aufgabe:** Zwei Endverbraucher benötigen Energie in einem Zeitfenster von 2 Stunden.



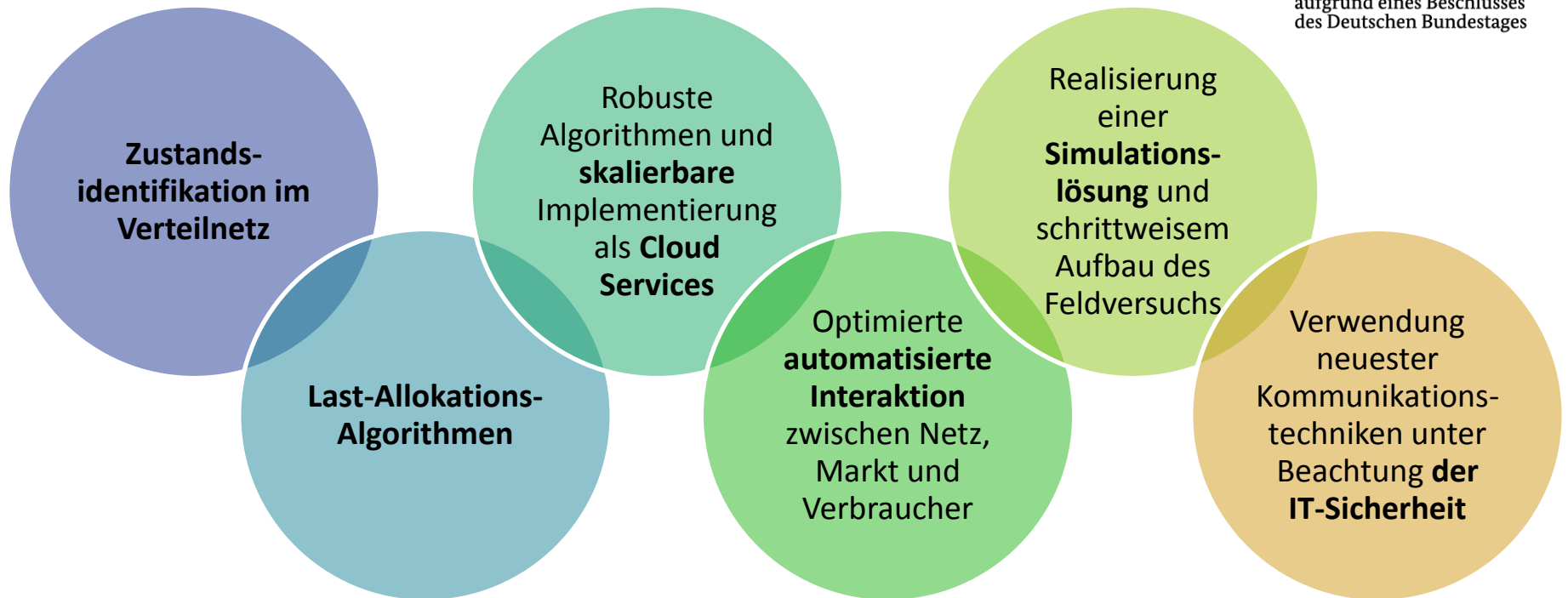
# Projekt Serving

## Service-Plattform-Verteilnetz zum integralen Lastmanagement

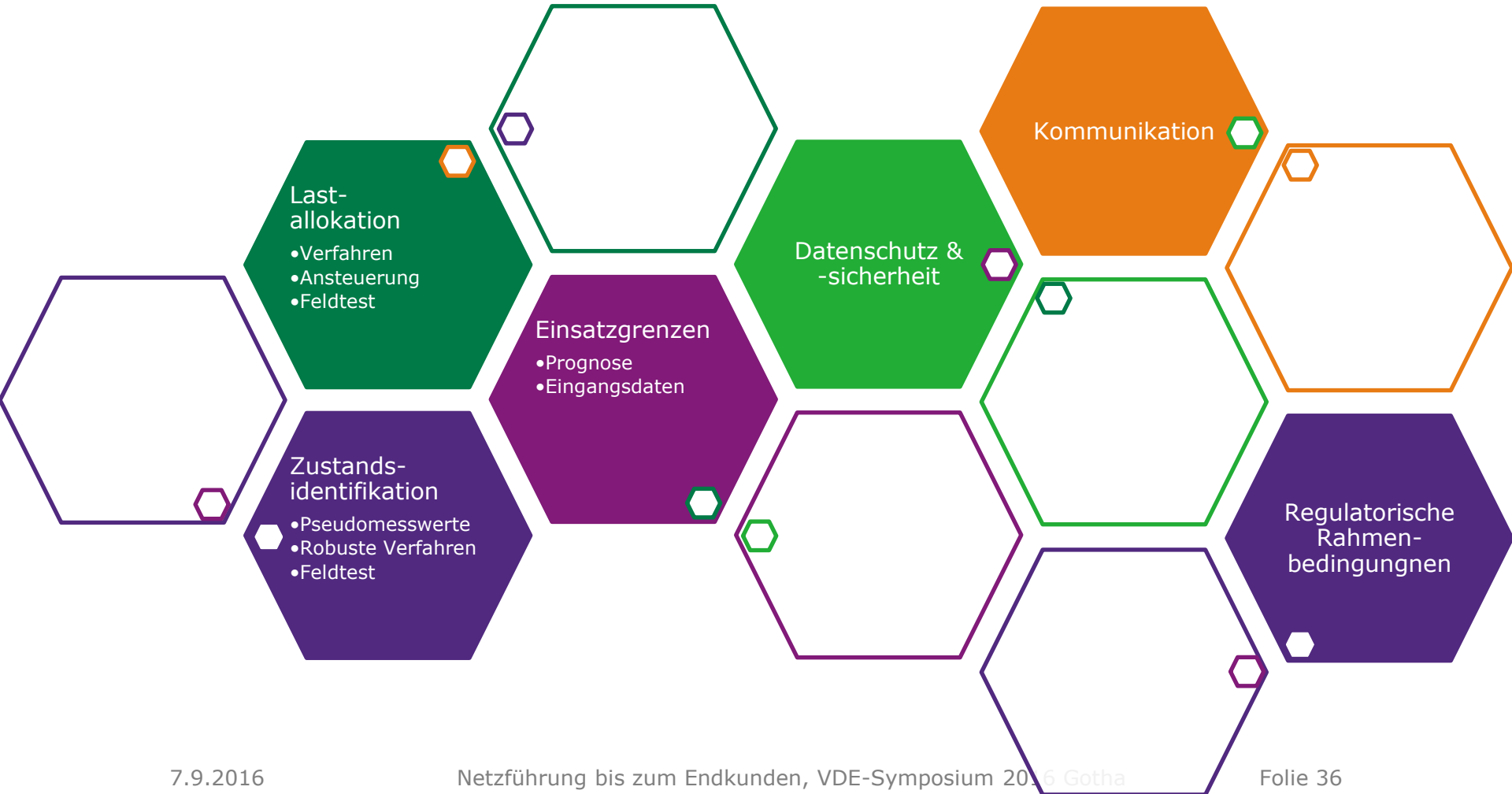
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Herausforderungen



# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Tobias Heß  
TU Dresden – IEEH  
+49 351 463 32941  
tobias.hess@tu-dresden.de**