

## Zeitstaffelschutz - Automatisierte Analyse und Optimierung

Selektivschutz in vermaschten Stromnetzen

Markus Albert,  
Prof. Dr.-Ing Peter Schegner,  
Prof. Dr.-Ing. Michael Igel,

VSE Verteilnetz GmbH  
TU Dresden  
htw saar

## Netzgesellschaften in der VSE Gruppe



Verteilnetz GmbH

### Spannungsebenen

- 110-kV und 35-kV

### Kennwerte

- Stromkreislänge: 900 km
- Umspannanlagen: 57
- Schaltfelder: 1121



### Spannungsebenen

- 20-kV und 10-kV

### Kennwerte

- Stromkreislänge: 6.600 km

energienetz<sup>7</sup>  
saar

## Ziele

Teil- oder vollautomatisierte

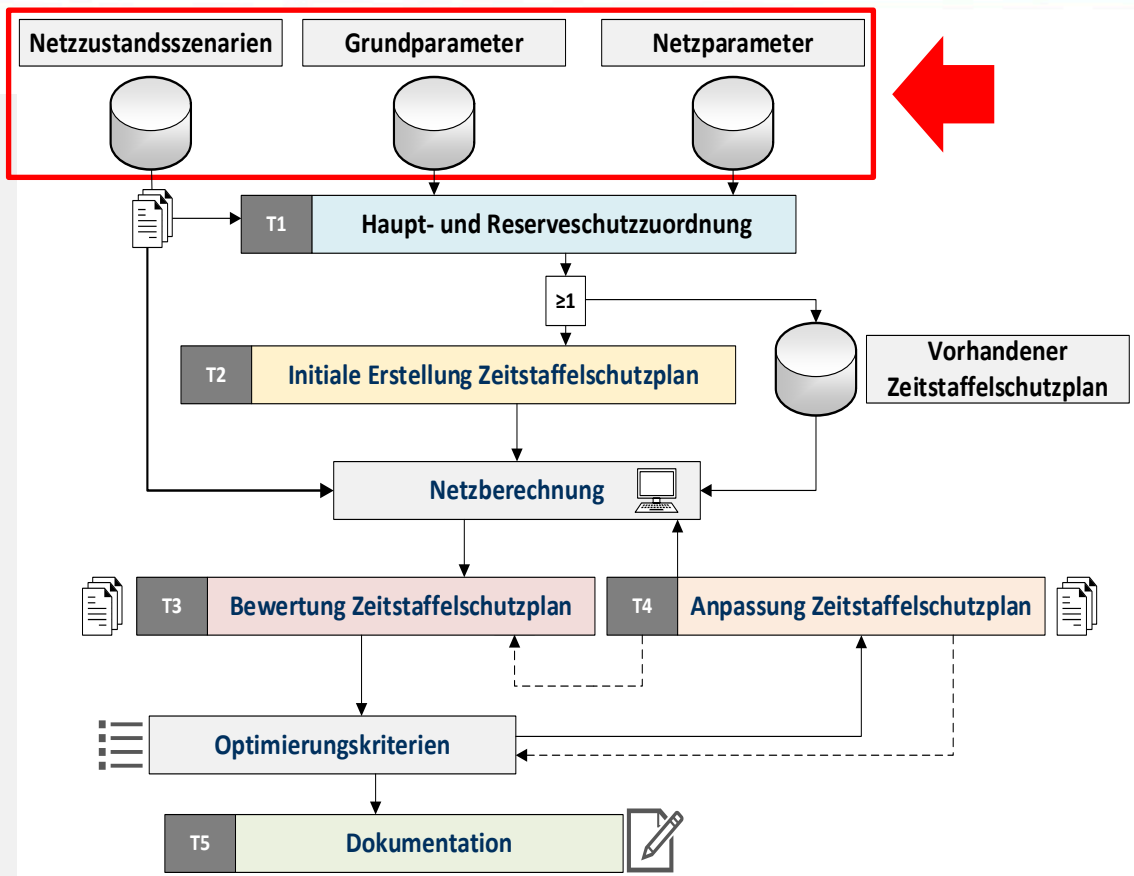
- **Erstellung**
- **Bewertung** und
- **Optimierung**

von Zeitstaffelschutzplänen

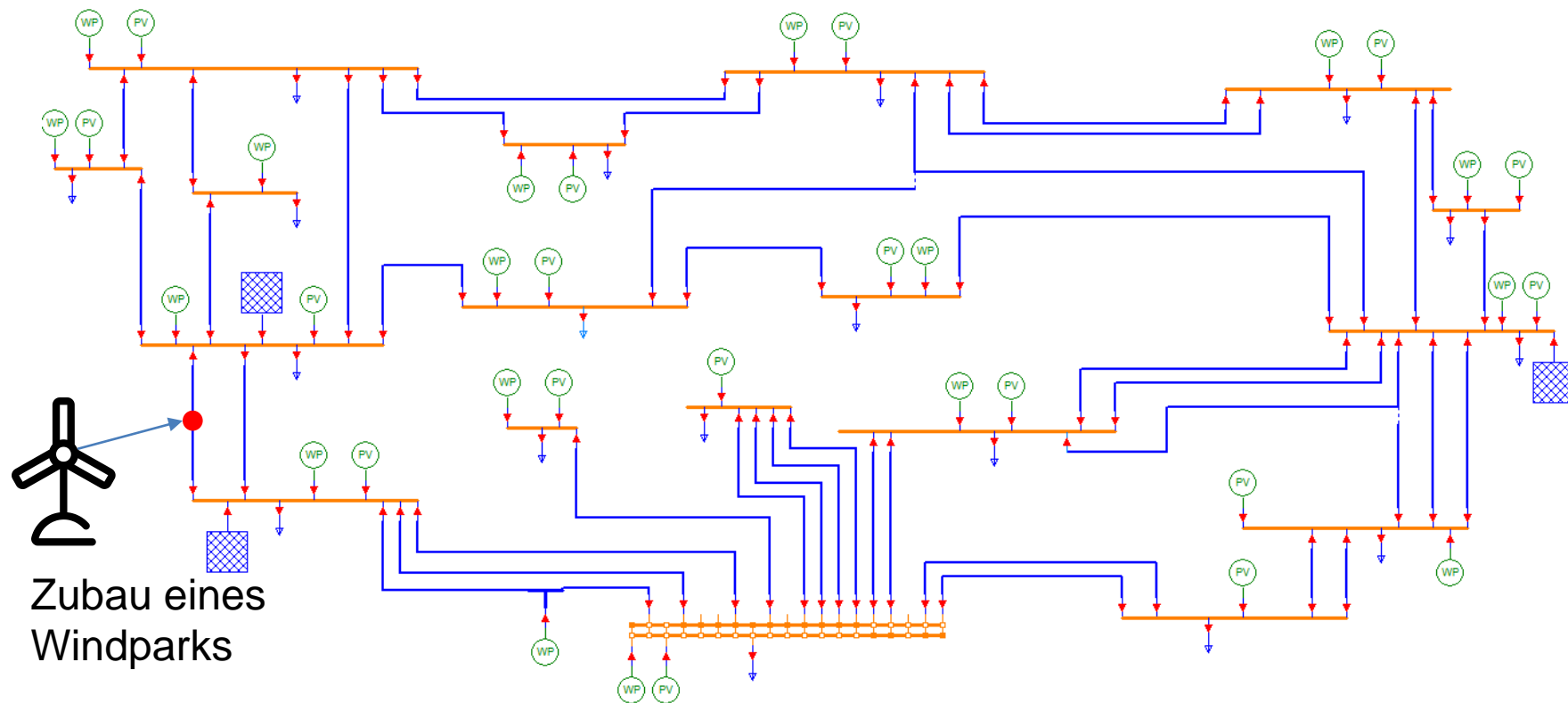
Berücksichtigung von

- **Allgemeingültigen** und
- **Anwenderdefinierten**

Anforderungen



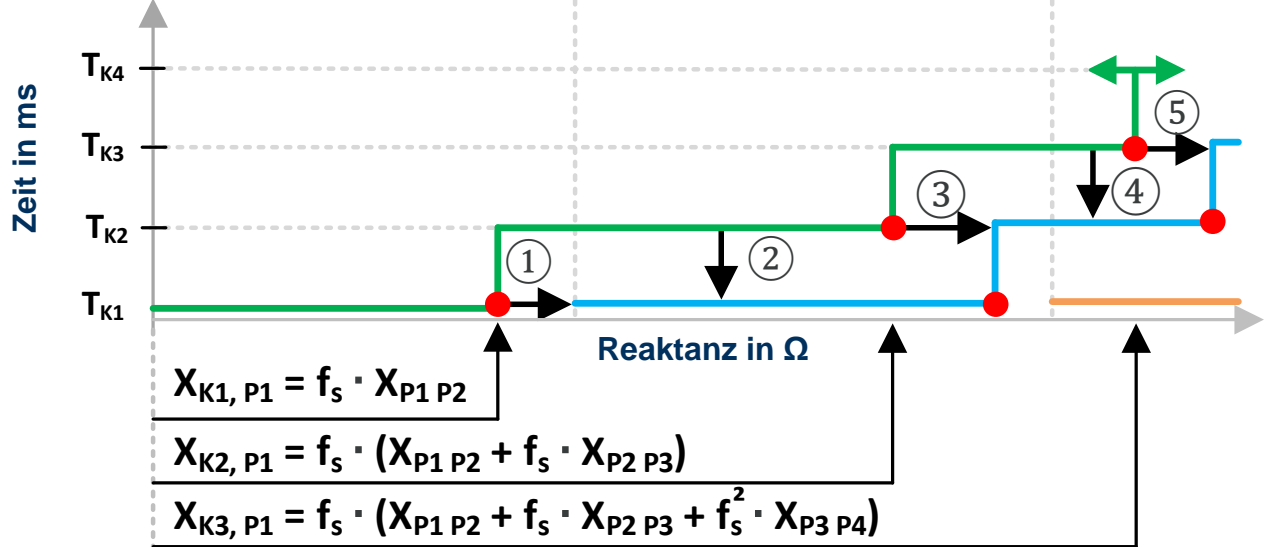
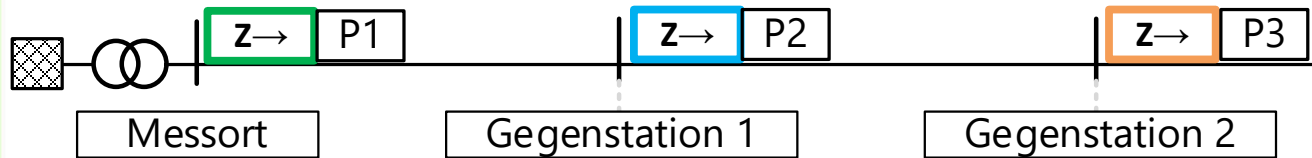
## Netzparameter: 110-kV-Referenznetz für Konzeptstudien



- Installierte Leistung aus Erneuerbaren Energien: ca. 860 MVA

# Grundparameter

- Distanzschutzgeräte
- Staffelung nach der kürzesten Folgeleitung



$$X_{K1, P1} = f_s \cdot X_{P1 P2}$$

$$X_{K2, P1} = f_s \cdot (X_{P1 P2} + f_s \cdot X_{P2 P3})$$

$$X_{K3, P1} = f_s \cdot (X_{P1 P2} + f_s \cdot X_{P2 P3} + f_s^2 \cdot X_{P3 P4})$$

- $f_s$  Staffelfaktor
- Sicherheitsabstand  $\delta X_i$
- ↓ Staffellabstand  $\Delta T_i$
- Kippgrenze  $K_n$
- Distanzschutzgerät
- ①  $\delta X_{K1, P1} = X_{GS1, P1} - X_{K1, P1}$
- ②  $\Delta T_{K2, P1} = T_{K2, P1} - T_{K1, P2}$
- ③  $\delta X_{K2, P1} = X_{K1, P2} - X_{K2, P1}$
- ④  $\Delta T_{K3, P1} = T_{K3, P1} - T_{K2, P2}$
- ⑤  $\delta X_{K3, P1} = X_{K2, P2} - X_{K3, P1}$

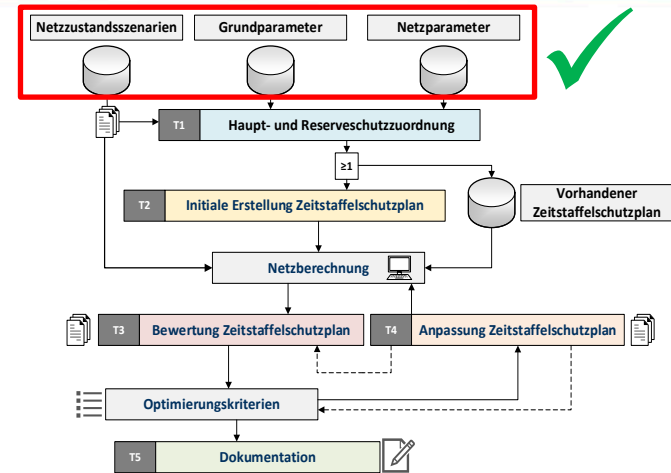
## Netzzustandsszenarien

### Beschreibung eines Netzzustandes durch

- Last- und Einspeisesituation
- Schaltzustand

### Beschreibung des Prüfzenarios durch

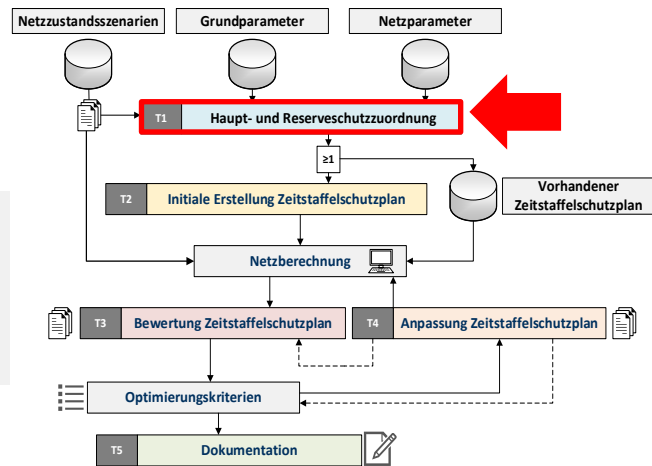
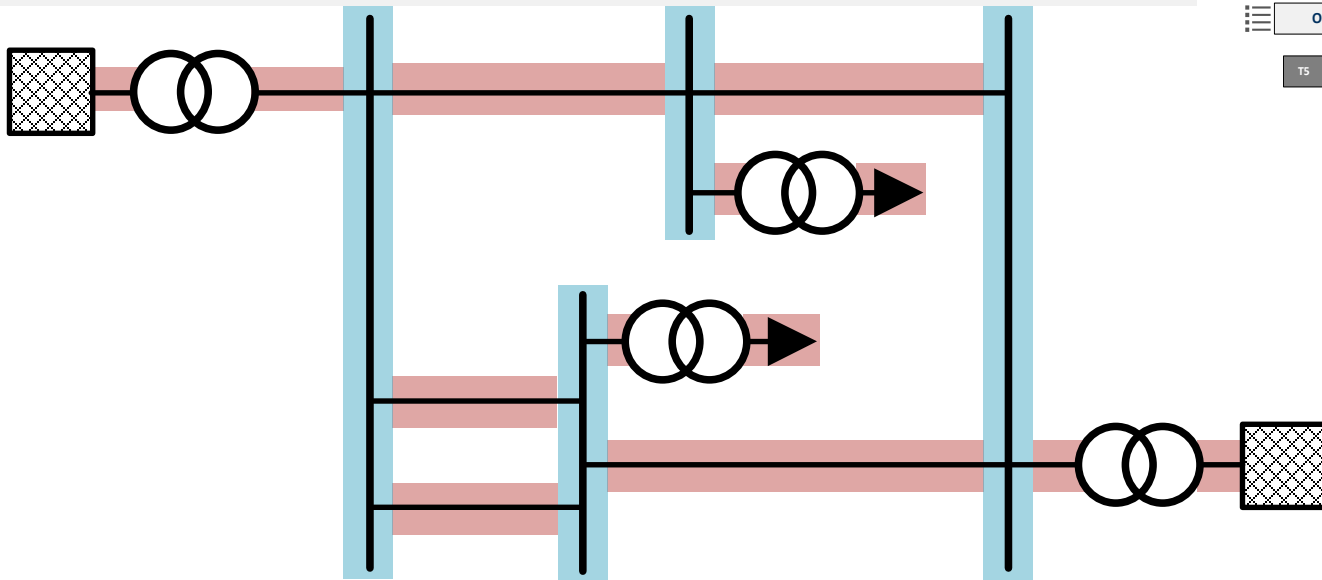
- Zu prüfende Schutzgeräte
- Schutzversager
- Fehlerart
- Hauptschutzprüfung
- Reserveschutzprüfung



# Identifikation Haupt- und Reserveschutz

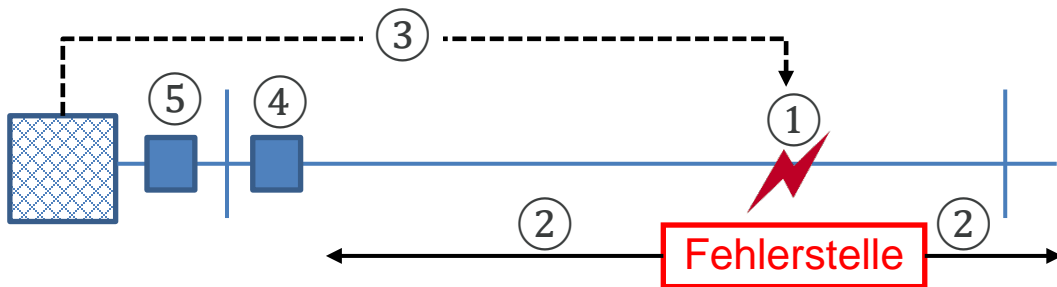
## Topologische Analyse

- Erstellung des Knoten- und Kantenmodelles auf Basis eines definierten Suchverfahrens der Graphentheorie



## Identifikation Haupt- und Reserveschutz

### Schutztechnische Analyse



1. Fehlerstelle definieren
2. Nächstgelegenes Schutzgerät identifizieren
3. Teilkurzschlussströme ermitteln
4. Hauptschutzgerät: Nächstliegendes Schutzgerät mit Teilkurzschlussstrom
5. Reserveschutzgerät(e): Weitere Schutzgeräte mit Teilkurzschlussstrom

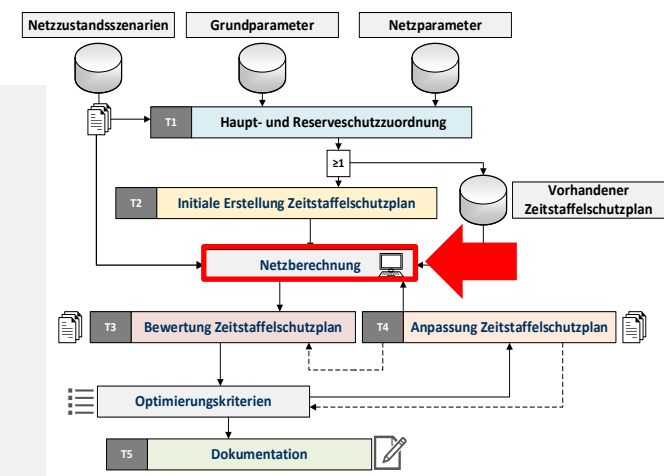


# Berechnung der Schutzreaktionen

Auf Basis der Netzzustandsszenarien und Grundparameter

- Startwert S                      0% Leitungslänge
- Schrittweite n                    5% Leitungslänge
- Endwert E                         100% Leitungslänge

- **Werkzeug:**            **Netzberechnung**
- **Ergebnis:**            **Auslöseverhalten der Schutzgeräte**

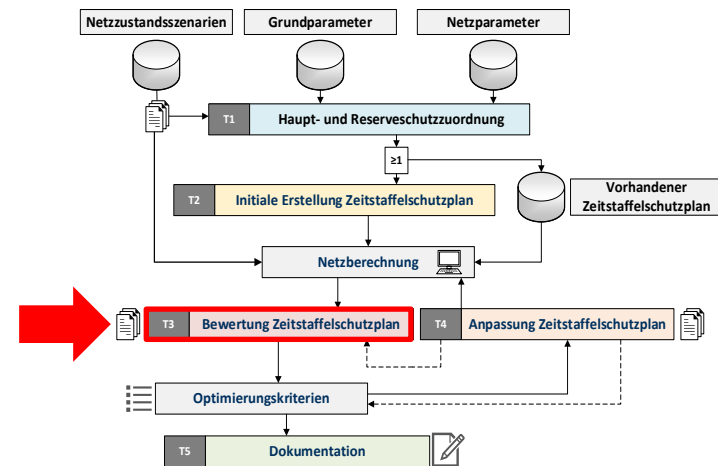


## Bewertung Zeitstaffelschutzplan

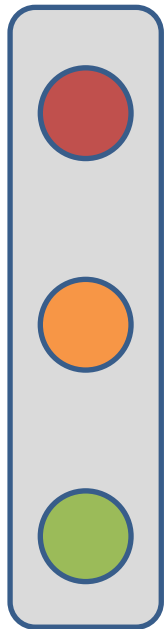
Prüfung allgemeingültiger und anwenderdefinierter Anforderungen:

- Selektivität
- Staffel- und Sicherheitsabstand
- Haupt- und Reserveschutzfunktion
  - Minimalgröße der Distanzzone
  - Ausreichende Überstaffelung der Gegenstation

**Ziel:**  
Qualitative Bewertung

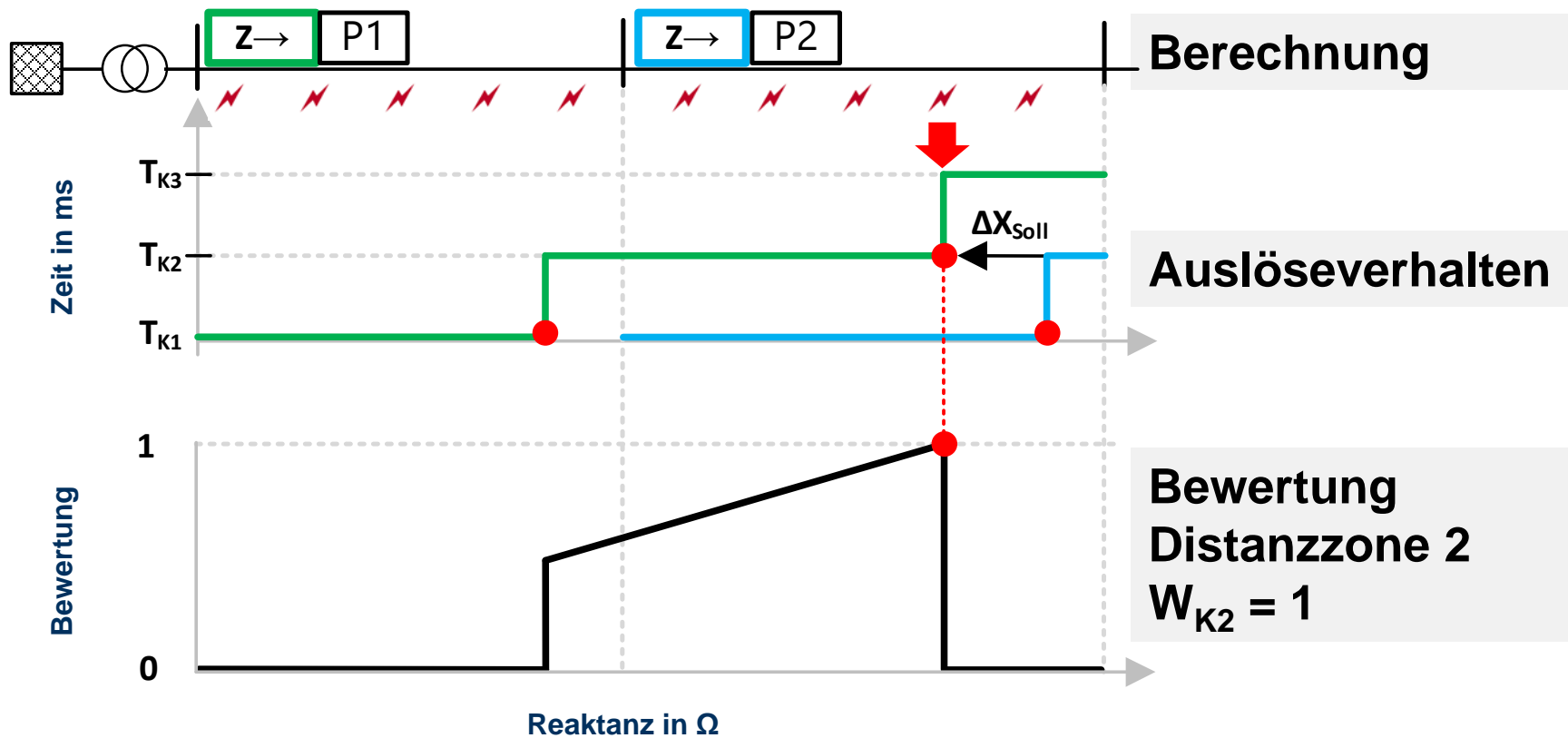


## Qualitative Bewertung mit Fuzzylogik

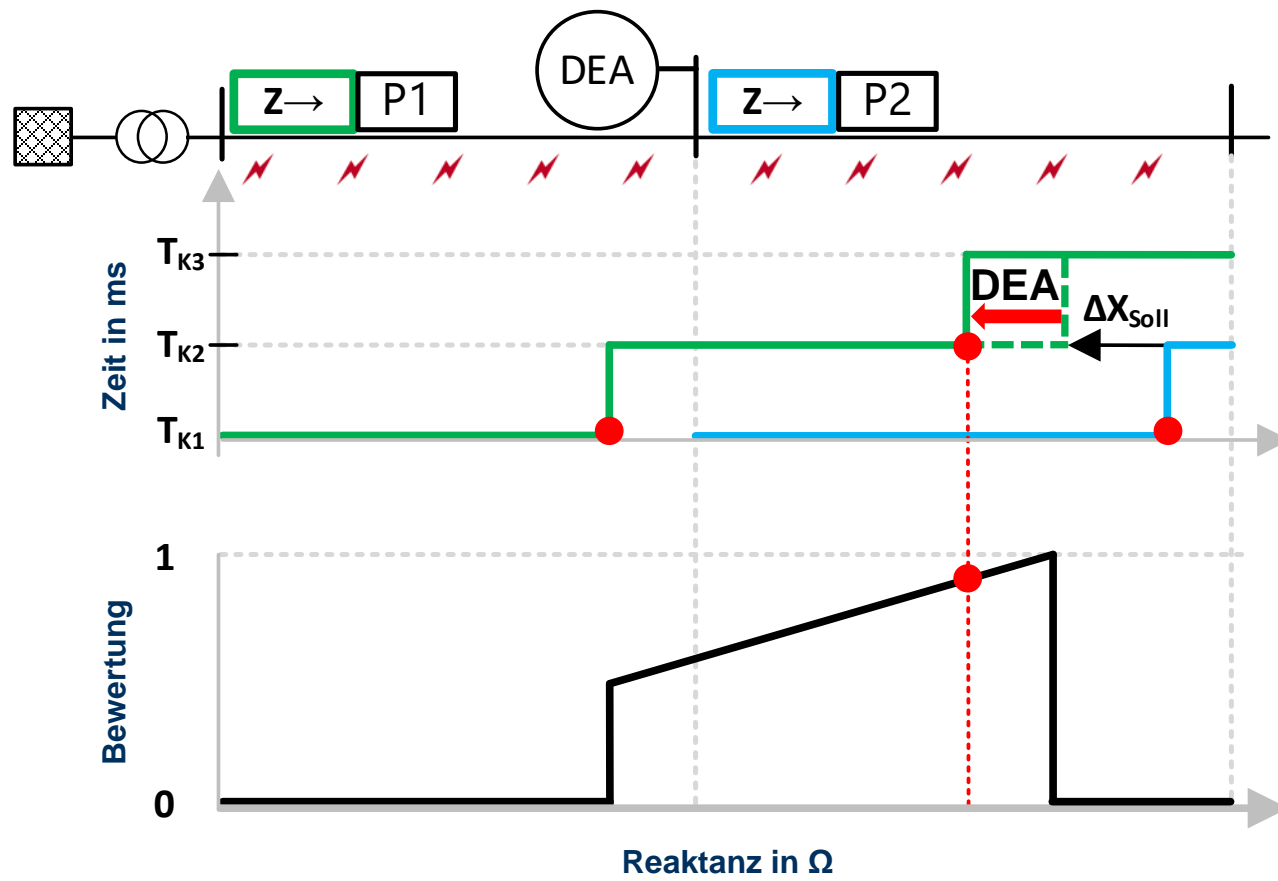


Zielfunktionswert	Bedeutung
$W = [0]$	Mindestens eine der allgemeingültigen oder anwenderdefinierten Anforderungen ist nicht erfüllt. Der Zeitstaffelschutzplan ist unzulässig.
$W = ]0, 1[$	Der Staffelaabstand verletzt die anwenderdefinierten Anforderungen. Die allgemeingültigen Anforderungen sind erfüllt. Der Zeitstaffelschutzplan ist zulässig.
$W = [1]$	Allgemeingültige und anwenderdefinierte Anforderungen sind erfüllt. Der Zeitstaffelschutzplan ist zulässig.

## Bewertung Szenario 0% Einspeiseleistung



# Bewertung Szenario 100% Einspeiseleistung



Berechnung

Auslöseverhalten

Bewertung  
Distanzzone 2  
 $W_{K2} = 1$

## Anpassung Zeitstaffelschutzplan

### Ziel:

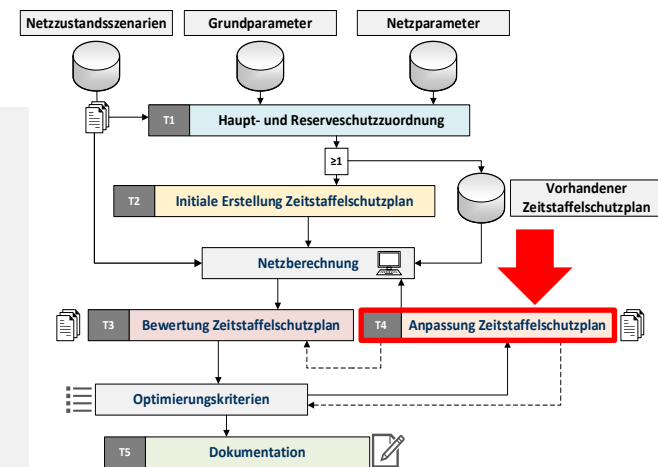
- Anpassung unter Berücksichtigung **aller** Netzzustandsszenarien

### Vorgehensweise:

- Ermittlung des zulässigen Lösungsraumes auf Basis der Bewertung

### Ergebnis:

- Verbesserte Einstellwerte



## Ermittlung des Lösungsraumes für die Netzzustandsszenarien

### 1. $\Delta X_{\min}$

Mindestgröße der Distanzzone

### 2. $\Delta X_{\max}$

Anwenderdefinierter Abstand zur Referenzkippgrenze

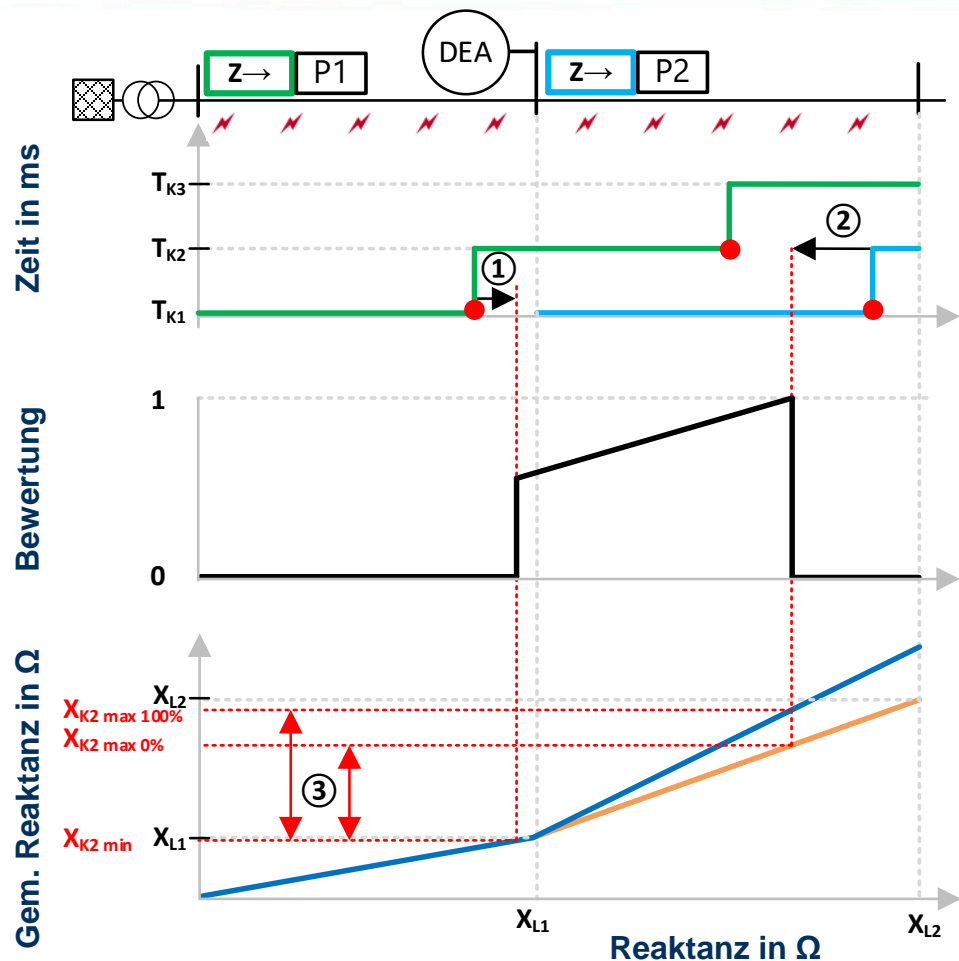
### 3. Lösungsräume

$[X_{K2 \min}, X_{K2 \max 0\%}]$

$[X_{K2 \min}, X_{K2 \max 100\%}]$

— 100% Einspeiseleistung

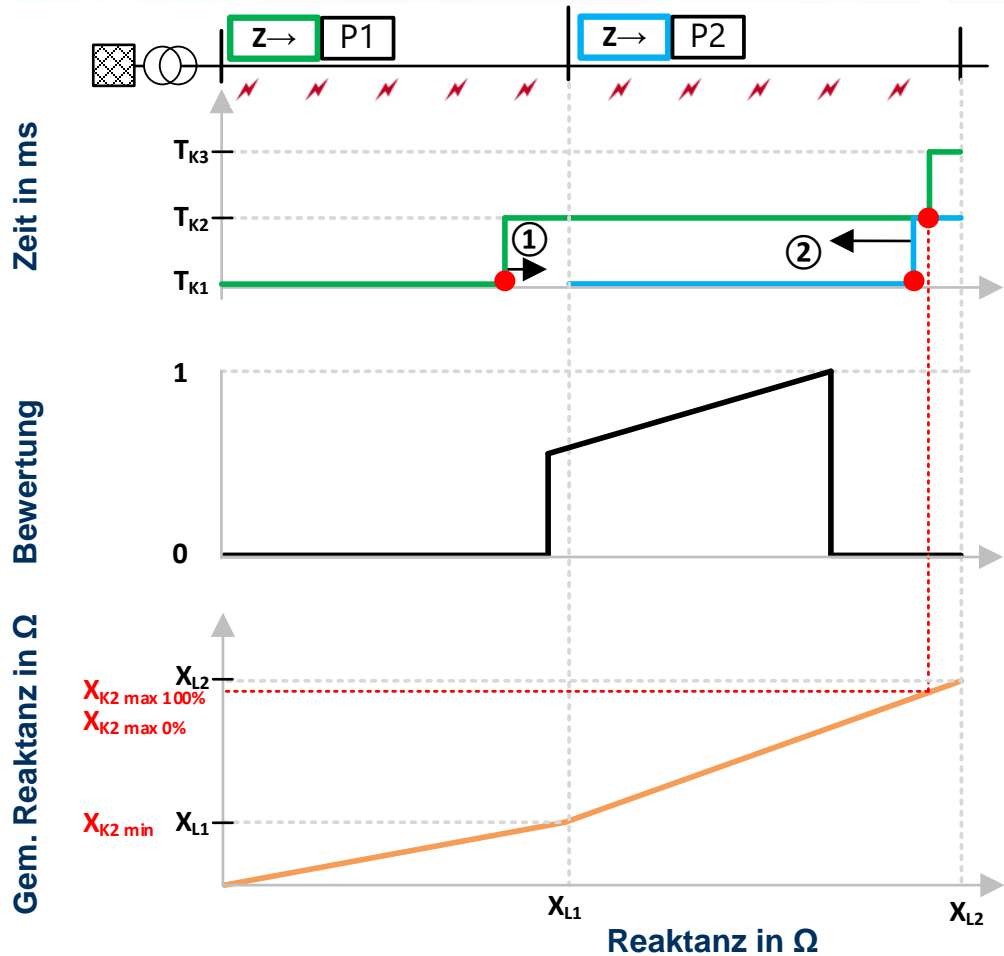
— 0% Einspeiseleistung



## Verbesserung des Einstellwertes

➤ Auswahl des Einstellwertes  
 $X_{K2 \max} 0\%$

- Auswahl des Einstellwertes  
 $X_{K2 \max} 100\%$  ist unzulässig





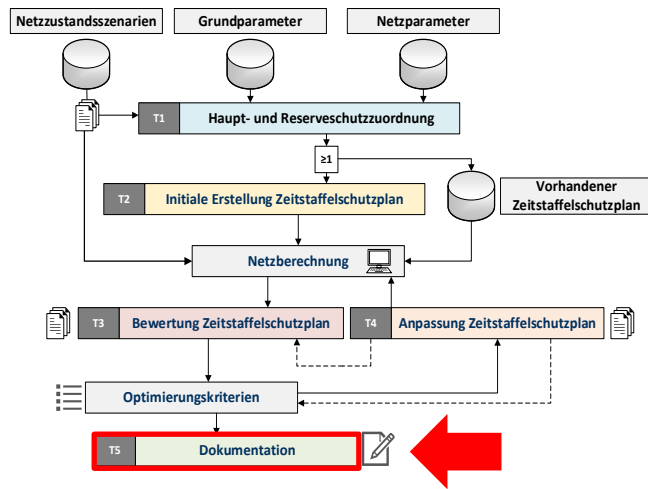
# Dokumentation

- Anwenderdefinierte Ausgabe der Prüfergebnisse in Vorlage

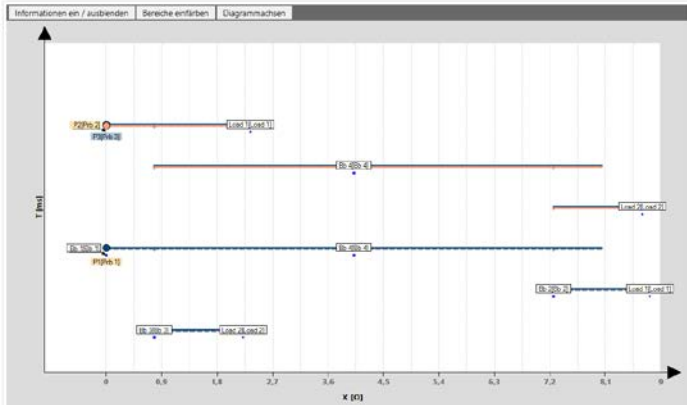
**Grid Protect**  
 Ein Produkt der **VSE**  
 Informationen unter [www.gridprotect.de](http://www.gridprotect.de)

Schutzprüfung 110-kV-Netz: Zubau WP Mustermann

**Dokumentation der Schutzprüfung**  
 1. Prüfer: Herr Mustermann  
 2. Prüfer: Herr Mustermann 2



## Visualisierung Bewertung



## Selektivität

**Betrachtetes Betriebsmittel**  
 [A]/[S] 265/[S] 20kV) Line 6 / 4 km  
 Line 6

**Betrachteter Fehlerort**  
 Betrachteter Fehlerort: 15 % Leitungslänge  
 Bewertung: 1

**Fehlerstrom nach allen Kaskaden**  
 L1: 0 A  
 L2: 0 A  
 L3: 0 A

**Kaskadenschritt 2**  
 Zeit seit Fehlerertritt: 300ms  
 Fehlerstrom nach: L1 932.3 A, L2 932.3 A, L3 932.3 A

Name der Schutzeinrichtung	Referenzname	Schutzfunktion	Strom L1 [A]	Strom L2 [A]	Strom L3 [A]	Reaktanz...	Staffelzeit [ms]
IPPh 2	IPPh 2	Instande Protection	931	932	933	0	300

# Fazit

Teil- oder vollautomatisierte

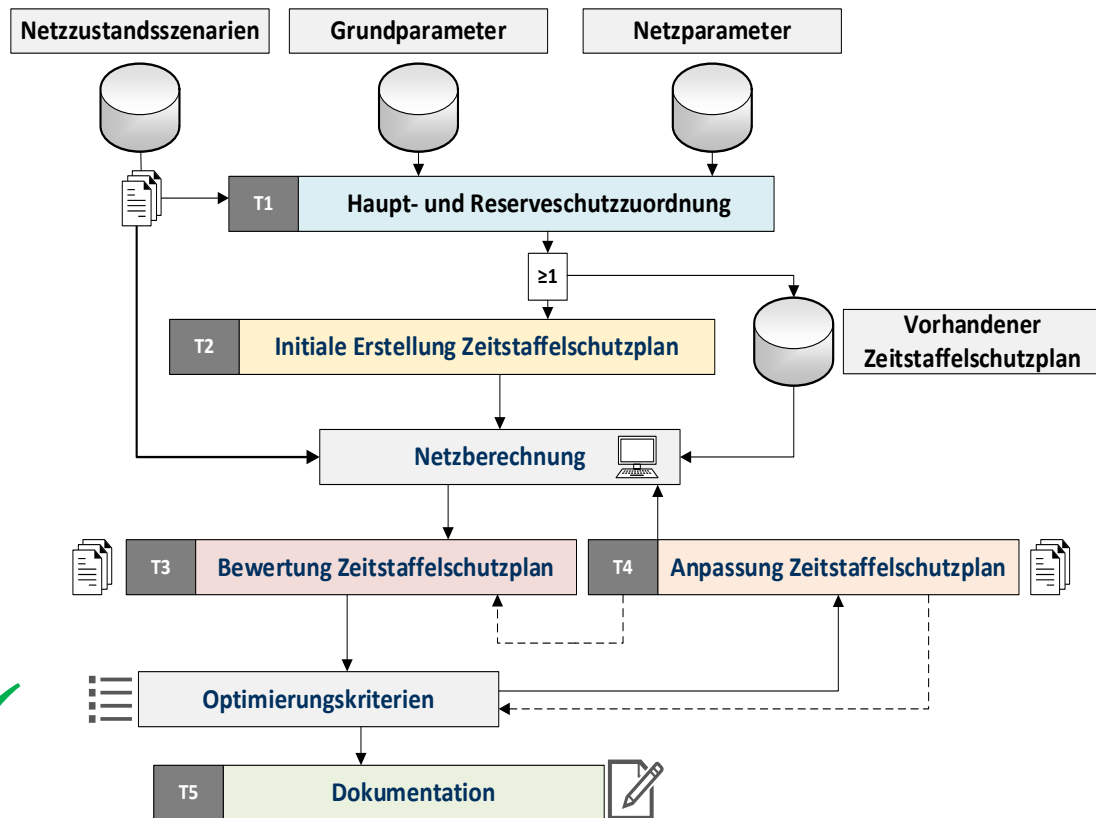
- **Erstellung** ✓
- **Bewertung** ✓
- **Optimierung** ✓

von Zeitstaffelschutzplänen

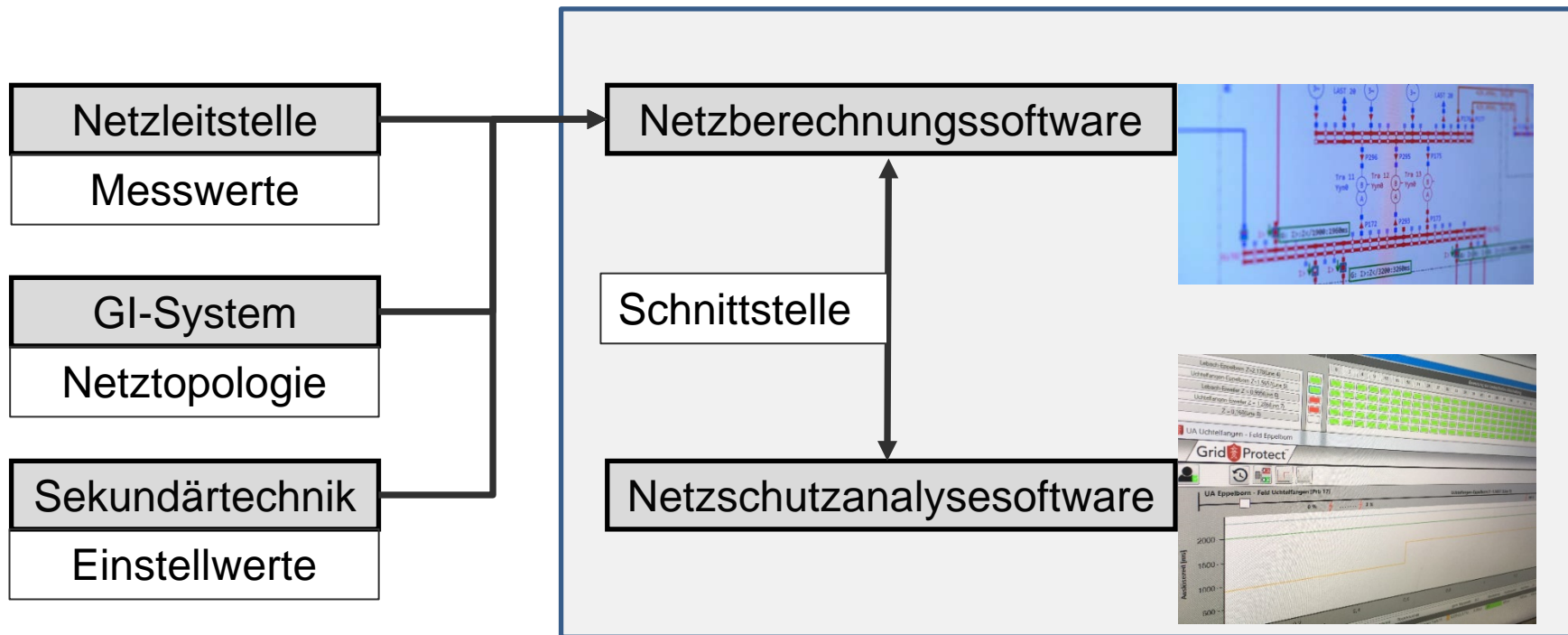
Berücksichtigung von

- **Allgemeingültigen** ✓
- **Anwenderdefinierten** ✓

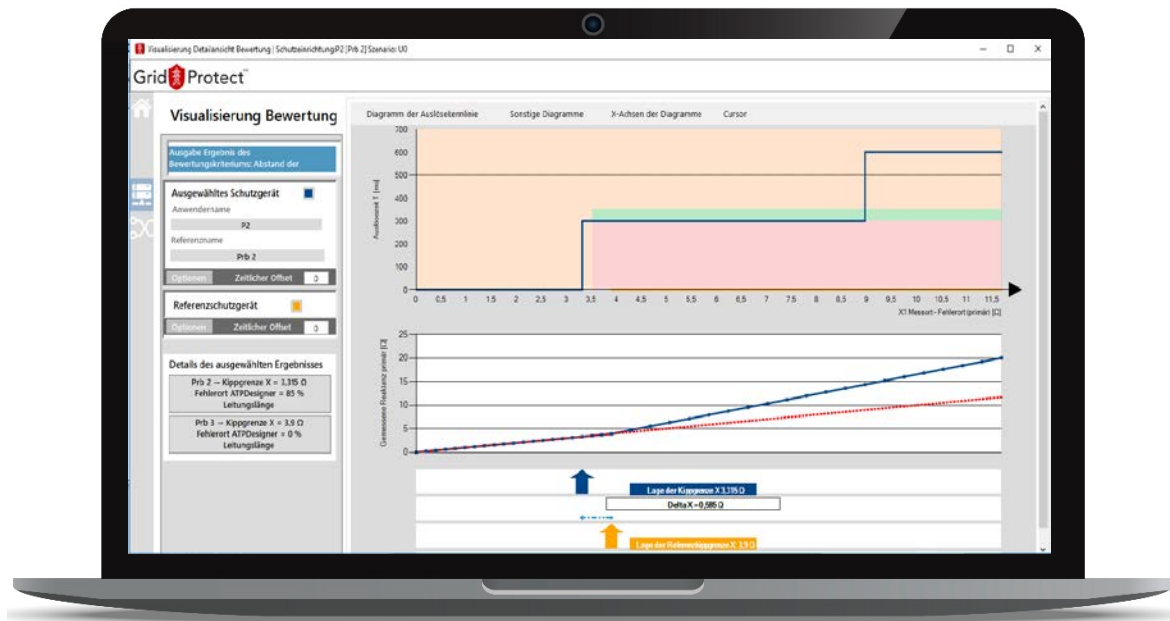
Anforderungen



# Integration des Verfahrens in den täglichen Netzbetrieb



## Messestand 10: Vorstellung des Verfahrens



### Ansprechpartner

Markus Albert, M.Sc.

+49 (0) 681 4030 1224

markus.albert@vse-verteilnetz.de