

**EINLEITUNG**

Durch die fluktuierende Leistung von dezentralen erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaikanlagen, Windkraftanlagen etc. ergibt sich eine Variation des momentanen Versorgungsgrades. Als momentaner Versorgungsgrad wird das Verhältnis der Leistung der Erzeugungsanlage zur Last (in Form des Verbrauchs) definiert. Der steigende Anteil dezentraler Erzeugungsanlagen und die Möglichkeit von teilversorgten Erzeuger- und Verbraucherstrukturen führt zu einem Netz mit vielen Erzeugern in der untersten Netzebene.

Im Fall eines Fehlers, wie zum Beispiel eines dreipoligen Kurzschlusses, kann es daher zu bidirektionalen Kurzschlussstromflüssen kommen. Die auftretenden bidirektionalen Stromflüsse sowie die resultierenden Kurzschlussströme sollen in dieser Arbeit untersucht werden.

**METHODE**

Zur einfachen und übersichtlichen Berechnung wurde ein Modell eines Untersuchungsnetzes erstellt. Dieses wurde in ein Fehlernetz (FN) und ein identes Beobachtungsnetz (BN) geteilt, welches in Abbildung 1 zu sehen ist.

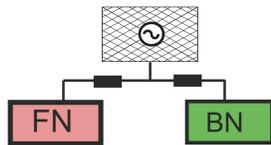


Abb. 1: Aufteilung in Fehler- und Beobachtungsnetz

Die weitere Untergliederung erfolgt in beiden Netzen in 4 Netzebenen (NE) mit 23 Knoten (NE1-A, NE3-A, NE3-B, NE5-A usw.) sowie 16 Abgängen, welche jeweils eine Last mit einer Größe von 100 kW sowie eine Erzeugungsanlage in Form einer Synchronmaschine mit variierender Leistung beinhaltet. Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau eines Strangs.

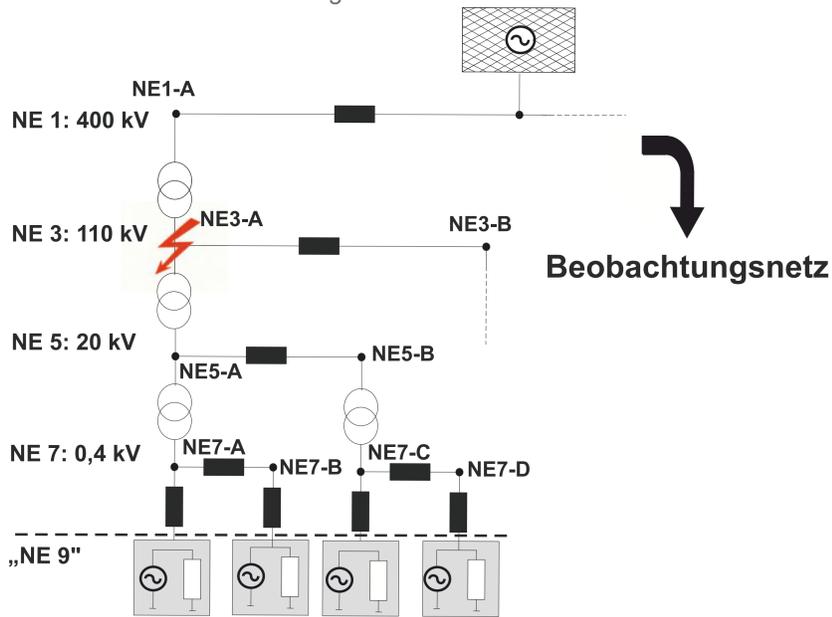


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Strangs im Fehlernetz

Tabelle 1 zeigt die untersuchten momentanen Versorgungsgrade bei einem gleichbleibenden Verbrauch von 100 kW.

Tab. 1: Unterschiedliche momentane Versorgungsgrade

momentaner Versorgungsgrad	Last	Erzeugungsanlage	Überschuss (Rückspeisung)
%	kW	kW	kW
0	100	0	0
50	100	50	0
100	100	100	0
150	100	150	50
200	100	200	100

**VORGEHENSWEISE**

Mit Hilfe von Neplan® wurde das Untersuchungsnetz nachgebildet und im Fehlernetz auf allen Knoten dreipolige Kurzschlüsse simuliert. Im Anschluss wurden die Knotenspannungen sowohl im Fehler- als auch im Beobachtungsnetz analysiert. Dieses Prozedere wurde für alle Versorgungsgrade wiederholt.

**ERGEBNISSE**

**Fehlernetz**

- ☒ Kurzschluss in NE 1 & NE 3:
  - kein Unterschied bezüglich der Restspannungen (typischerweise 24-53 % von  $U_N$  bei 100 % momentanem Versorgungsgrad) in NE 9 (proprietäres 0,4 kV Netz) zwischen einem Kurzschluss in NE 1 und NE 3
  - momentaner Versorgungsgrad von 200 % verursacht einen Anstieg der Restspannungen auf den 2,2 bis 2,6-fachen Wert der Restspannungen im Vergleich zu einem momentanen Versorgungsgrad von 50 %
- ☒ Kurzschluss in NE 5 & NE 7:
  - bei einem Kurzschluss in NE 5 unterscheiden sich die Restspannungen in NE 9 um 10 % bis 24 % im Vergleich zu einem Kurzschluss in NE 7
  - bei einem Kurzschluss in NE 7 mit einem momentanen Versorgungsgrad (200 %) betragen die Restspannungen 10 % in unmittelbarer Nähe

**Beobachtungsnetz**

- ☒ Kurzschluss in NE 1 & NE 3:
    - hoher momentaner Versorgungsgrad führt ab NE 7 zu einem deutlichen Spannungsanstieg
  - ☒ Kurzschluss in NE 5:
    - 96 %(\*) bis 98 %(\*) Restspannung in NE 9 im Beobachtungsnetz
  - ☒ Kurzschluss in NE 7:
    - 99 %(\*) Restspannung in NE 9 im Beobachtungsnetz
  - ☒ Kurzschluss in NE 7:
    - keine Auswirkungen durch dezentrale Erzeugungsanlagen auf die Fehlerspannungen im Beobachtungsnetz
- \* mit Spannungsfaktor  $c=1,0$

Tabelle 2 zeigt die betroffenen Abgänge, die in Abhängigkeit des Fehlerorts und Versorgungsszenarios einen Spannungseinbruch auf unter 90% der Nennspannung erleiden. Die orangen Zellen zeigen jene Fehlerorte bzw. momentane Versorgungsgrade, bei welchen alle Abgänge einen Spannungseinbruch erleiden. Die gelb markierten Zellen stellen die Szenarien dar, wo nur bei ausgewählten Abgängen ein Spannungseinbruch eintritt. Die grünen Zellen stellen jene Szenarien dar, wo kein Abgang einen Spannungseinbruch auf unter 90 % der Nennspannung erleidet.

Tab. 2: Relative Anzahl der Abgänge mit einer Restspannung kleiner 90%

Fehlerort	Versorgungsgrad																	
	0%			50%			100%			150%			200%					
	FN	BN	Σ	FN	BN	Σ	FN	BN	Σ	FN	BN	Σ	FN	BN	Σ			
	betr. Abgänge			betr. Abgänge			betr. Abgänge			betr. Abgänge			betr. Abgänge					
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			
NE1-A	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,0			
NE3-A	100,0	100,0	100,0	100,0	50,0	75,0	100,0	0,0	50,0	100,0	100,0	50,0	100,0	100,0	50,0			
NE3-B	100,0	0,0	50,0	100,0	0,0	50,0	100,0	0,0	50,0	100,0	0,0	37,5	100,0	0,0	37,5			
NE5-A	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0			
NE5-B	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0			
NE5-C	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0			
NE5-D	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0			
NE7-A	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE7-B	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE7-C	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE7-D	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE7-E	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE7-F	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE7-G	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE7-H	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE9-A	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE9-B	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE9-C	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE9-D	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE9-E	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE9-F	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			
NE9-G	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5	25,0	0,0	12,5			
NE9-H	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3	12,5	0,0	6,3			

**ZUSAMMENFASSUNG**

- ☒ Kurzschluss in NE 5 & NE 7:
  - keine Unterschiede zwischen momentanen Versorgungsgraden
  - im Fehlernetz erleiden jeweils nur die direkt betroffenen Abgänge einen Spannungseinbruch
- ☒ Kurzschluss in NE 1:
  - selbst ein hoher momentaner Versorgungsgrad von 200% kann nur bei 25 % der Abgänge im Beobachtungsnetz den fehlerbedingten Spannungseinbruch wirksam reduzieren