

Vermaschungsgrad der Verteilnetze in Deutschland

Weisenstein, M.; Wellßow, W.-H.

Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiemanagement

1 Motivation und Ziel des Beitrags

Die stetige Installation neuer Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energiequellen sowie der zu erwartende Durchbruch bei der Elektrifizierung der Sektoren Verkehr und Wärme stellt die Netzplanung- und Netzbetriebsführung von Verteilnetzen vor Herausforderungen. Langfristiger Netzausbau muss hinsichtlich der kosteneffizientesten Lösung geplant, Netzverstärkungsmaßnahmen priorisiert und akute Netzprobleme müssen behoben werden.

Die größte Herausforderung besteht wohl in der Kürze der Zeit, in der Entscheidungen und Maßnahmen getroffen werden müssen, falls es zu einem Durchbruch der Elektrifizierung der Sektoren Verkehr und Wärme kommt. Das heißt, wenn innerhalb kurzer Zeit sehr viele Kunden ggf. zeitgleich und in allen Niederspannungs-Netzen (NS-Netzen) eine zusätzliche hohe Leistung beziehen. Vor einer ähnlichen Herausforderung standen viele Netzbetreiber bereits in den Jahren 2009 – 2013, in denen es eine sehr hohe Anzahl an Anschlussbegehren für Erzeugungsanlagen nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG-Anlagen) gab.

Eine kosteneffiziente Maßnahme, welche insbesondere Flächennetzbetreiber genutzt haben, war das Schließen der Trennstellen zur Vermaschung der Netze. Dabei wurden nicht nur die Maschen innerhalb eines Ortsnetzes geschlossen sondern auch verschiedene Ortsnetze gekoppelt, wodurch mehrfach gespeiste vermaschte Netze entstanden sind. Dies führte dazu, dass die Aufnahmefähigkeit dieser Netze für EEG-Anlagen verbessert wurde. Die Vermaschung der Netze hat jedoch auch Nachteile, insbesondere wenn diese nicht dafür ausgelegt sind. Von einigen Netzbetreibern ist bekannt, dass sie diesen vermaschten Zustand nach und nach wo nötig mittels konventionellem Netzausbau rückgängig machen wollen.

Aus der Literatur zur Netzplanung ist bekannt, dass sowohl ländliche als auch städtische NS-Netze zum Teil als Maschennetze ausgeführt, aber nicht vermascht betrieben werden, d. h. die Trennstellen der Maschen sind offen [1, S. 407]. In ländlichen NS-Netzen werden nach [2] und [3, S.82] jedoch Strahlennetze bevorzugt. Es wird zudem beschrieben, dass Mittelspannungs-Netze (MS-Netze) in der Regel als offene Ringe betrieben werden. Nach Kenntnis der Autoren liegen die letzten Datenerhebungen hierzu jedoch schon mehr als 25 Jahre zurück.

Zur Analyse des Potentials und der Herausforderungen eines vermaschten Netzbetriebs wurde daher eine Umfrage bei Netzbetreibern von Verteilnetzen durchgeführt. Die wichtigsten Fragenstellungen darin waren:

- Wie hoch ist der Anteil vermaschter NS-Netze, aufgeteilt in ländlich und städtische Netze?
- Wie hoch ist der Anteil vermaschter MS-Netze?
- Was sind die größten Hemmnisse, weshalb die Netze nicht vermascht betrieben werden?
- Würde ein System, das autonom und kosteneffizient einen sicheren vermaschten Netzbetrieb auch im Fehlerfall gewährleistet, zum vermaschten Netz als Standard-Topologie beitragen?

Dieses Dokument behandelt in Abschnitt 2 die hier betrachteten Verteilnetz Topologien sowie den Vermaschungsgrad und beschreibt allgemeine Probleme und Vorteile beim vermaschten Betrieb. Abschnitt 3 beschreibt die methodische Vorgehensweise zur Umfrage. In Abschnitt 4 erfolgt die Präsentation der Ergebnisse. In Abschnitt 5 werden die Ergebnisse bewertet und Erkenntnissen abgeleitet. Abschnitt 6 schließt das Dokument mit einem Fazit und einem Ausblick ab.

2 Verteilnetze und Vermaschungsgrad

Es gibt viele Ausführungsformen von Verteilnetztopologien und Betriebsweisen, die teilweise aus historischen Gründen entstanden sind und nicht geändert wurden. Auch sind regional unterschiedliche Bezeichnungen dieser Verteilnetztopologien und Betriebsweisen gängig. In diesem Abschnitt werden die Verteilnetztopologien und Betriebsweisen definiert, die Teil der Umfrage waren. Dabei wird nicht zwischen MS-Ebene und NS-Ebene unterschieden. Der Umspannpunkt zur überlagerten Netzebene wird allgemein als Netzstation bezeichnet.

Tabelle 1, Abbildung a) zeigt ein **Strahlennetz**. Eine Netzstation speist mehrere separate Stränge, die nicht über das Schließen von Trennstellen vermaschbar sind. Es ist eine gängige NS-Netztopologie, insbesondere in Gebieten geringer Lastdichte [3, S.82].

In einem **einfach gespeisten und offen betriebenen vermaschten Netz** (siehe Tabelle 1, Abbildung b)) speist eine Netzstation ein vermascht aufgebautes, aber offen betriebenes Netz. Offen betriebene Ringnetze gehören zu dieser Kategorie. Sind die Trennstellen geschlossen, wurde dies in der Umfrage als **einfach gespeistes und geschlossen betriebenes vermaschtes Netz** (siehe Tabelle 1, Abbildung c)) bezeichnet.

Speisen mehrere Netzstationen ein vermascht aufgebautes aber offen betriebenes Netz, das vom selben Abgang bzw. Strang der überlagerten Netzebene versorgt wird, wurde dies in der Umfrage als **mehrfach gespeistes und offen betriebenes vermaschtes Netz** (siehe Tabelle 1, Abbildung d)) bezeichnet. Sind die Trennstellen geschlossen, wurde es als **mehrfach gespeistes und geschlossen betriebenes vermaschtes Netz** (siehe Tabelle 1, Abbildung e)) bezeichnet.

Ein **offen betriebenes Maschennetz** (siehe Tabelle 1, Abbildung f)) hat mehrere Netzstationen, die von mindestens zwei unterschiedlichen Abgängen bzw. Strängen der überlagerten Netzebene versorgt werden und ein vermascht aufgebautes, aber offen betriebenes Netz speisen. Analog zu den anderen Netztopologien wurde es in der Umfrage als **geschlossen betriebenes Maschennetz** (siehe Tabelle 1, Abbildung g)) bezeichnet, wenn die Trennstellen geschlossen sind.

Weiter soll an dieser Stelle der Begriff „Vermaschungsgrad“ definiert werden, da es sich hier um keine genormte Bezeichnung handelt. In der Literatur [2, S. 3/23 ff.] wird Maschennetzen ein hoher Vermaschungsgrad zugeordnet, während die Bezeichnung vermaschte Netze bei Netzen mit geringerem Vermaschungsgrad verwendet wird. Analog dazu steigt in dieser Arbeit der Vermaschungsgrad ausgehend vom Strahlennetz bis zum Maschennetz an, wobei jeweils zwischen den Fällen „geschlossen“ und „offen betrieben“ unterschieden wird. Der Vermaschungsgrad wird somit in Stufen von 0 – 3 angegeben, Tabelle 1 zeigt eine Zuordnung der Netztopologien zu dem hier definierten Vermaschungsgrad.

Tabelle 1: Netztopologien nach Vermaschungsgrad

	Offen betrieben	Geschlossen betrieben
0	<p>a)</p>	
1	<p>b)</p>	<p>c)</p>
2	<p>d)</p>	<p>e)</p>
3	<p>f)</p>	<p>g)</p>

Geschlossen betriebene Maschennetze kommen in der Realität wegen der erschwerten Netzplanung und der Kosten insbesondere für den aufwändigeren Netzschutz in der Regel nicht vor. Geschlossen betriebene mehrfach gespeiste vermaschte Netze und Maschennetze haben nach [2, S. 3/27] eine hohe Versorgungszuverlässigkeit, niedrige Netzverluste und eine gute Anpassungsfähigkeit an die Lastentwicklung sowie gute Bedingungen zur Spannungshaltung. Bei Ausfall eines Transformators können in der Regel die meisten Kunden zunächst weiter versorgt werden. Sind diese Netze offen betrieben kann die Versorgung schnell wiederhergestellt werden, da nur die Trennschalter betätigt oder NS-Hochleistung (NH)-Sicherungen eingesetzt werden müssen.

Bei Neuinstallationen haben diese Netztopologien aufgrund der zusätzlichen Kabel und Kabelverteiler höhere Investitionskosten als reine Strahlennetze. Es sei erwähnt, dass in einigen Fällen auch Maschennetze wieder zurückgebaut werden. Nicht ausgelastete und sehr alte Maschennetze verschlechtern ggf. durch die Vielzahl an alten Kabeln die Zuverlässigkeit im Gesamtnetz. Schwab schreibt hier von einem Trend der Entmaschung [1, S. 396].

Generelle Nachteile beim vermaschten Netzbetrieb sind die fehlende Topologiefehler-Erkennung, der höhere Aufwand beim Netzschutz sowie die komplizierte Fehlerlokalisierung. Topologiefehler entstehen zum Beispiel durch einzelne, auch unsymmetrische NH-Sicherungsauslösungen, die oft unerkannt bleiben. Beim Netzschutz ist die Selektivität nicht immer gegeben. Bei der Auslegung der NH-Sicherungen muss drauf geachtet werden, dass das Verhältnis des größten Teilkurzschlussstromes zum Summenkurzschlussstrom in einem Knotenpunkt nicht in die Nähe von 1 gelangt [4, S. 106 f.]. Werte kleiner 0,8 werden als ausreichend angesehen [4, S. 107]. Durch die nicht immer gegebene Selektivität ist zudem die Lokalisierung sowie die Isolierung von Fehlerstellen (zum Beispiel nach einem Kurzschluss) aufwändiger.

Bei Maschennetzen kommen weitere Aspekte hinzu. So kann die Transformator- und Leitungsauslastung ggf. nur schlecht abgeschätzt werden, da sich der Lastfluss nach der Netzimpedanz und der vorliegenden Einspeise- und Lastsituation ausprägt und die Auslastung daher nicht wie bei Strahlennetzen einfach aufaddiert werden kann. Des Weiteren besteht ein erhöhter Projektierungs- und Koordinierungsaufwand bei der Netzplanung auf der überlagerten MS-Ebene, da bspw. bei Trennstellenverlagerung im MS-Netz die Vermaschung in der unterlagerten NS-Ebene berücksichtigt werden muss, da es im Fehlerfall zu ungewollten Rückspeisungen aus der NS-Ebene in den fehlerbehafteten MS-Netzabschnitt kommen kann. Dieser unerwünschte Zustand muss bei mehrfach versorgten Maschennetzen generell berücksichtigt werden, z. B. mit Rückleistungs- oder Maschenstromrelais.

3 Methodische Vorgehensweise

Die Umfrage wurde online über die Plattform *www.q-set.de* erstellt und per E-Mail über verschiedene Verteiler an diverse Netzbetreiber verteilt. Diese konnten anonym an der Umfrage teilnehmen. Insgesamt wurden 18 themenbezogene Fragen gestellt, wobei je nach zuvor gemachter Antwort nicht alle Fragen bearbeitet werden mussten.

Zu Beginn der Umfrage wurde die Frage gestellt (Frage 1), ob sich die Teilnehmenden eher zum Typ eines Flächen- oder eines Stadtnetzbetreibers zählt. In der Auswertung werden teilweise Ergebnisse nach diesen beiden Typen separiert, um ggf. Muster bei den Antworten und der Zugehörigkeit zu einer dieser Kategorien zu erkennen.

Die nächste Frage (Frage 2), zu welchen Spannungsebenen man eine Aussage treffen kann, zielte hingegen nur darauf ab, die folgenden Fragen zu filtern und die Fragen spezifischer zu stellen.

Die weiteren Fragen drehten sich um die Abfrage der verwendeten Standard-Topologie und der Gründe für deren Verwendung. Bei allen Fragen konnten von den Teilnehmenden mehrere Gründe angegeben werden. In zwei Fragen (Frage 7a und 8a) wurde gefragt, zu wieviel Prozent in etwa eine gewisse Netztopologie im eigenen Netzgebiet vorliegt. Diesen Fragen zugeordnet war je eine weitere Frage (Frage 7b und 8b), wie fundiert die Einschätzungen sind. Die Auswahlmöglichkeiten zu dieser Frage werden in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2: Auswahlmöglichkeiten zur Frage der Einschätzung und deren Gewichtung

Einschätzung	Gewichtung
Ziemlich genaue Einschätzung	1,00
Weniger genaue Einschätzung	0,75
Grobe Einschätzung	0,50
Sehr grobe Einschätzung	0,25

Neben den Rohdaten zu den Fragen 7a und 8a wird auch ein gewichteter Mittelwert angegeben, der sich nach Gleichung (1) ergibt. Die Gewichtung richtet sich nach den Angaben in Tabelle 2.

$$\bar{v}_g = \frac{I}{\sum_{i=1}^I v_i} \sum_{i=1}^I \alpha_i \cdot v_i \quad (1)$$

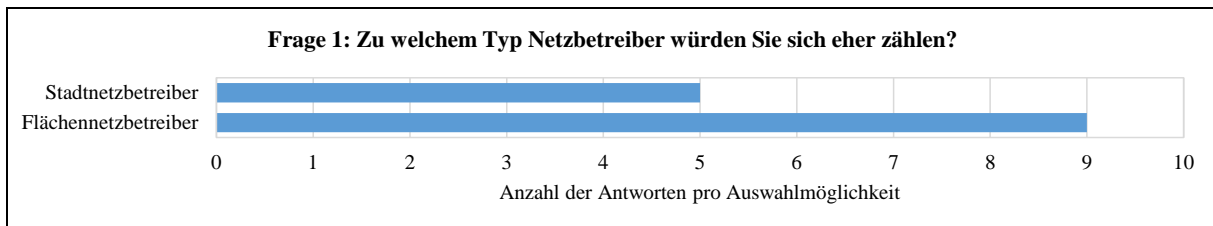
- \bar{v}_g : Gewichteter Mittelwert der gemachten Antworten in %
- I : Anzahl der Antworten
- α_i : Gewichtung zur i -ten Antwort in Abhängigkeit der Einschätzung
- v_i : Wert zur i -ten Antwort in %

Die beiden letzten Fragen zielten darauf ab, ob die Teilnehmenden sich unter Verwendung eines nicht näher beschriebenen Systems, welches viele Nachteile des vermaschten Netz eliminieren würde, das geschlossen betriebene vermaschte Netz als Standard-Topologie vorstellen können und welches die wichtigste Anforderung an ein solches System sein sollte. Bei beiden Fragen konnte jeweils nur eine Wahl getroffen werden.

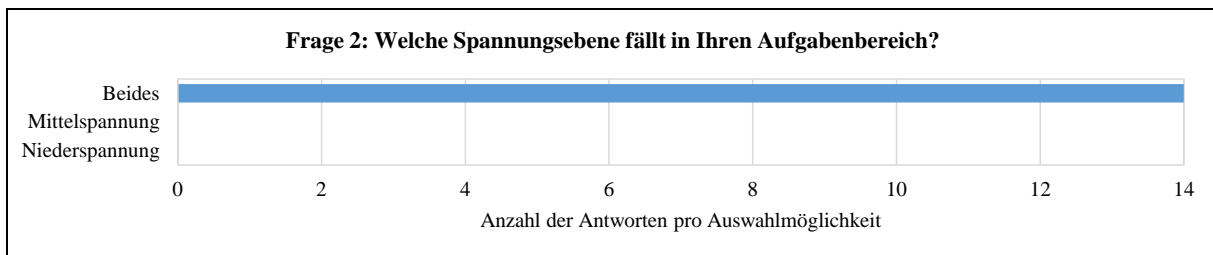
Bei nahezu allen Fragen (bis auf Frage 1 und Frage 2) konnten auch individuelle Antworten gegeben werden.

4 Ergebnisse der Umfrage

Die Umfrage wurde insgesamt 14-mal vollständig bearbeitet. Bei der Zuordnung zu einem Typ von Netzbetreibern (Frage 1) gaben 9 Teilnehmende an, sich zu den Flächennetzbetreibern zu zählen und 5 gaben an, sich zu den Stadtnetzbetreibern zu zählen.

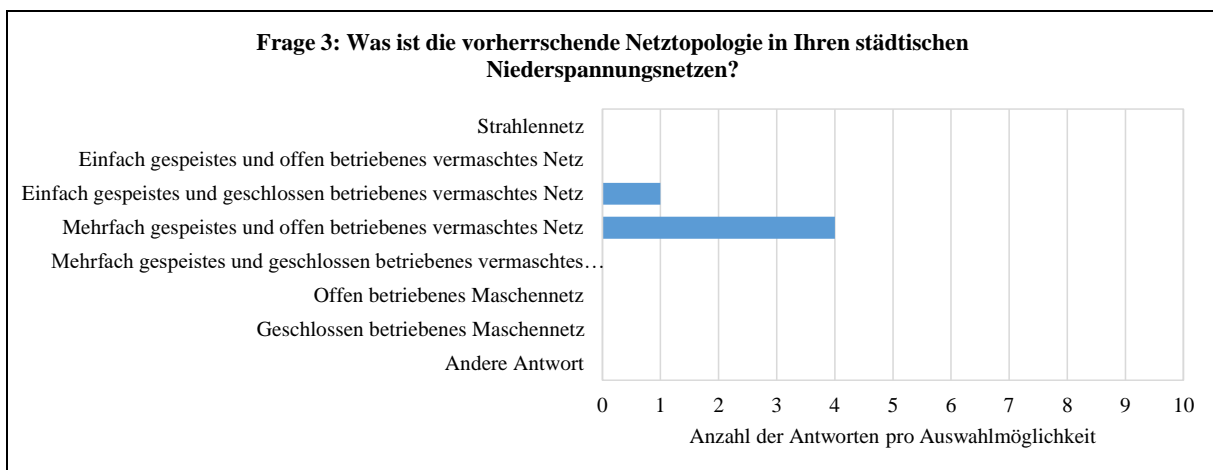


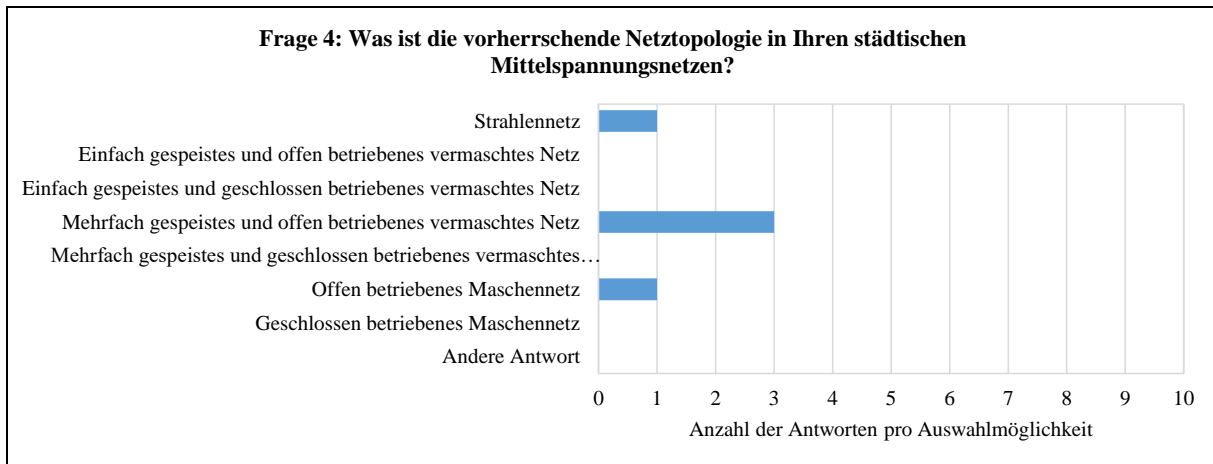
Bei der Frage (Frage 2), zu welcher Spannungsebene die Teilnehmenden eine Aussage zur Netztopologie treffen könnten, gaben alle 14 Teilnehmende an, für NS- und MS-Netze Aussagen treffen zu können.



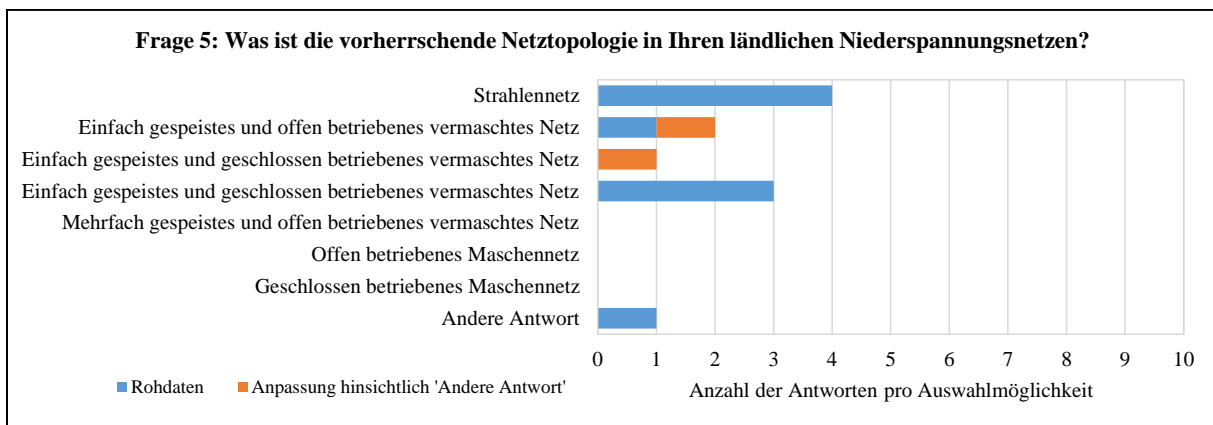
Frage 3 und 4 wurde nur den Teilnehmenden gestellt, welche sich bei Frage 1 den Stadtnetzbetreibern zugeordnet haben. Analog wurden Frage 5 und 6 nur den Teilnehmenden gestellt, welche sich bei Frage 1 den Flächennetzbetreibern zugeordnet haben.

Die Mehrzahl der Stadtnetzbetreiber gab zu Frage 3 an, dass mehrfach gespeiste und offen betriebene vermaschte Netz als vorherrschende Netztopologie ihrer städtischen NS-Netze zu haben. Nur Teilnehmerin bzw. ein Teilnehmer gab an, dass das einfach gespeiste und geschlossen betriebene vermaschte Netz die vorherrschende Netztopologie ist. Aufgrund dieser Antwort hat dieser Teilnehmer als einziger die Frage 9 gestellt bekommen. Dieselbe Frage bezogen auf die MS-Netze (Frage 4) beantwortete ebenfalls die Mehrheit von drei Teilnehmern mit dem mehrfachgespeisten und offen betriebenen vermaschten Netz. Ein Teilnehmer gab das Strahlennetz und ein weiterer das offen betriebene Maschennetz als vorherrschende Netztopologie an.





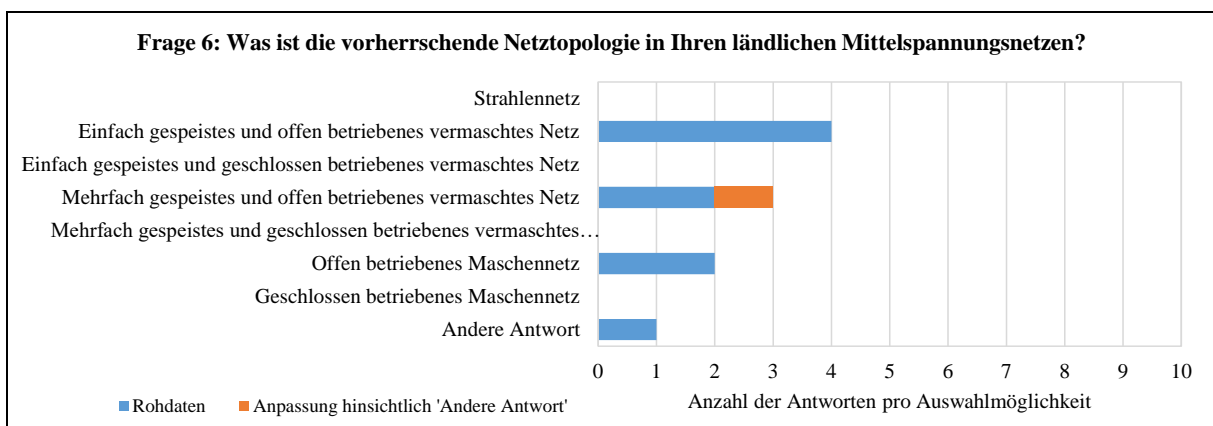
Bei den „Flächennetzbetreibern“ gab zu Frage 5 die Mehrzahl von vier Teilnehmern an, dass das Strahlennetz die vorherrschende Netztopologie in ihren ländlichen NS-Netzen ist. Drei Teilnehmer wählten das mehrfach gespeiste und offen betriebene vermaschte Netz und ein Teilnehmer wählte das einfach gespeiste und geschlossen betriebene vermaschte Netz. Ein Teilnehmer konnte sich nicht festlegen und gab eine andere Antwort an, welche zwei Antwortmöglichkeiten enthält. Dies wird in der Grafik zu Frage 5 mittels separaten Farbcodes dargestellt.



„Andere Antwort“ zu Frage 5:

- *Üblich sind sowohl einfach gespeiste, geschlossene betriebene Netze als auch einfach gespeiste, offen betriebene Netze*

Dieselbe Frage bezogen auf die MS-Netze (Frage 6) beantwortete ebenfalls die Mehrheit von drei Teilnehmern mit dem mehrfach gespeisten und offen betriebenen vermaschten Netz. Jeweils zwei Teilnehmer gaben an, dass mehrfach gespeiste und offen betriebene vermaschte Netz bzw. das offen betriebene Maschennetz als vorherrschende Netztopologie zu haben. Ein Teilnehmer gab eine „Andere Antwort“, welche durch die Autoren zur Kategorie der mehrfach gespeisten und offen betriebenen vermaschten Netzen gezählt wird.



„Andere Antwort“ zu Frage 6:

- *Offen betriebene Ringnetze der MS-Stromkreise einer 110/20-kV-Umspannanlage*

Alle Teilnehmer wurden in Frage 7a gefragt, wie hoch sie ungefähr den Anteil von geschlossen betriebenen vermaschten Netzen in deren NS- und MS-Netzgebiet einschätzen. Bei der NS-Ebene ist der kleinste angegebene Wert 0 %, der höchste 65 % und der Median liegt bei 1 %. Bei der MS-Ebene ist der kleinste angegebene Wert 0 %, der höchste 40 % und der Median liegt bei 0 %.

In Frage 7b folgte die Abfrage, wie fundiert die gemachten Aussagen eingeschätzt werden. Niemand wählte die schlechteste Einschätzung „Sehr grobe Einschätzung“. Die Mehrzahl von 6 Teilnehmern gab an, eine „Grobe Einschätzung“ gemacht zu haben. Vier Teilnehmer wählten „Weniger genaue Einschätzung“ aus. Fünf Teilnehmer gaben an, eine „Ziemlich genaue Einschätzung“ gemacht zu haben.

In Abschnitt 2 wurde erklärt, wie die Antworten zu Frage 7b und 8b in den Ergebnissen zu Frage 7a und 8a berücksichtigt werden können. Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte der Originaldaten (Rohdaten) sowie die gewichteten Daten zur Frage 7 nach Gleichung (1). In beiden Fällen sind die Mittelwerte mit Gewichtung geringer als die Mittelwerte der Originaldaten.

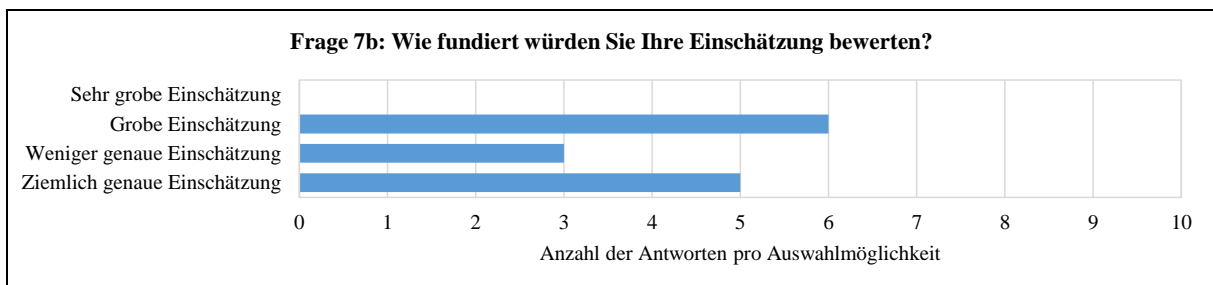
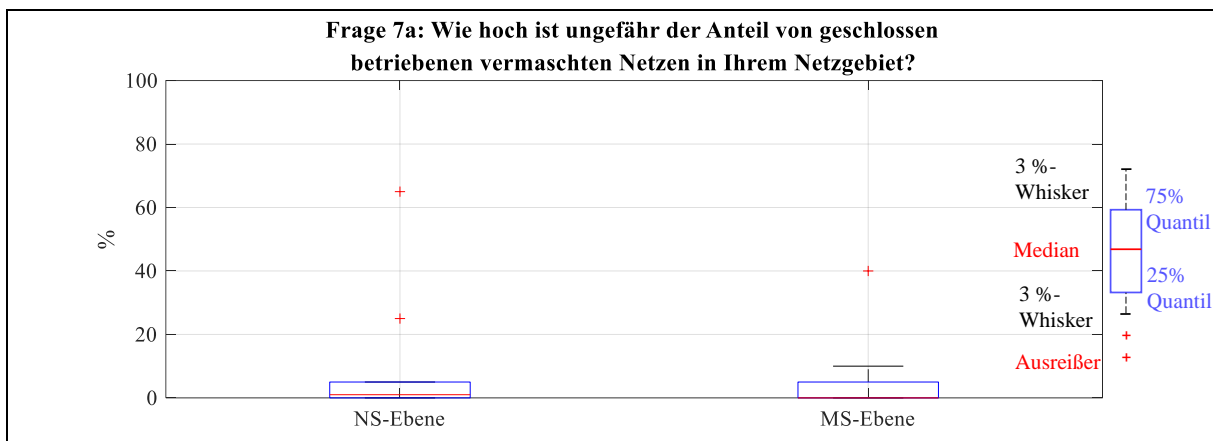


Tabelle 3: Gegenüberstellung der originalen und der gewichteten Mittelwerte zu Frage 7

Mittelwert original NS-Ebene	8,08 %
Mittelwert gewichtet NS-Ebene	4,50 %
Mittelwert original MS-Ebene	5,98 %
Mittelwert gewichtet MS-Ebene	3,41 %

Alle Teilnehmer wurden in Frage 8a gefragt, wie hoch sie ungefähr den Anteil von offen betriebenen vermaschten Netzen in deren NS- und MS-Netzgebiet einschätzen. Bei der NS-Ebene ist der kleinste angegebene Wert 0 %, der höchste 100 %, der Median liegt bei 67,5 %. Bei der MS-Ebene ist der kleinste angegebene Wert 50 %, der höchste 100 %, der Median liegt bei 95 %.

In Frage 7b folgte die Abfrage, wie fundiert die gemachten Aussagen eingeschätzt werden. Niemand wählte die schlechteste Einschätzung „Sehr grobe Einschätzung“. Die Mehrzahl von 6 Teilnehmern gab an, eine „Grobe Einschätzung“ gemacht zu haben. Jeweils vier Teilnehmer wählten „Weniger genaue Einschätzung“ und einer „Ziemlich genaue Einschätzung“ aus.

Tabelle 4 zeigt die Mittelwerte der Originaldaten (Rohdaten) sowie die gewichteten Daten zur Frage 8 nach Gleichung (1). In beiden Fällen sind die Mittelwerte mit Gewichtung um mehr als 25 % größer als die Mittelwerte der Originaldaten.

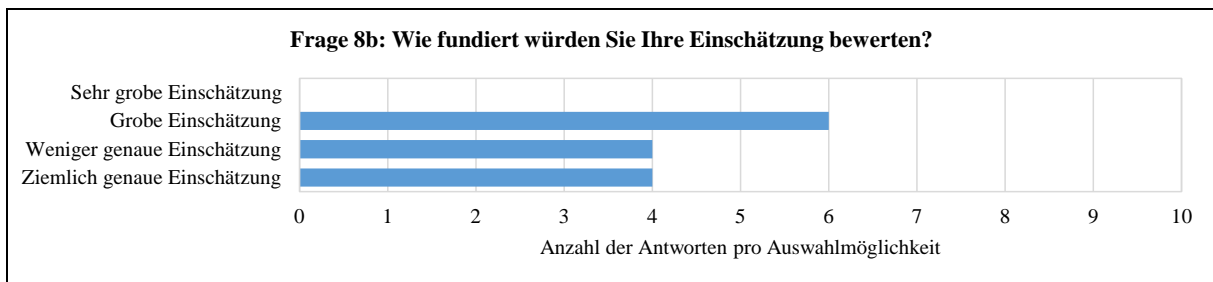
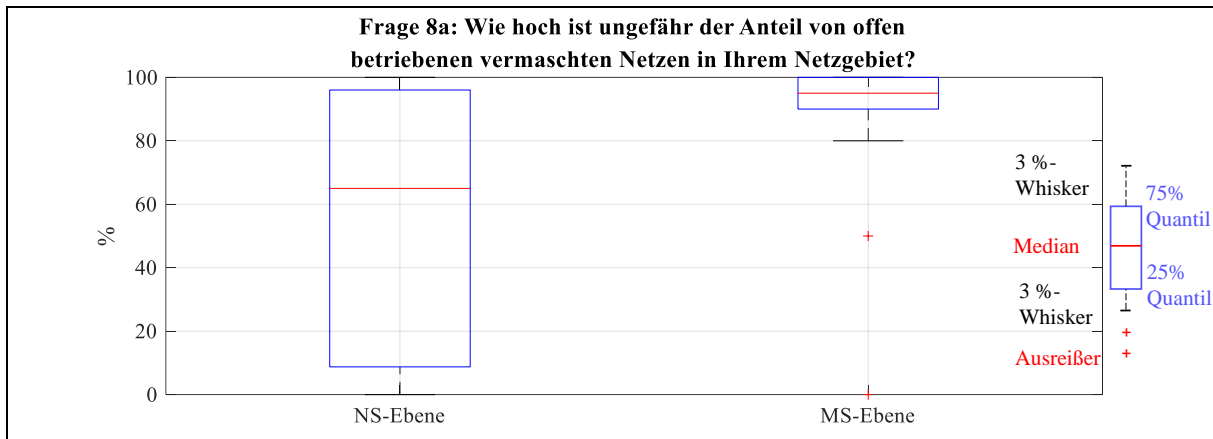
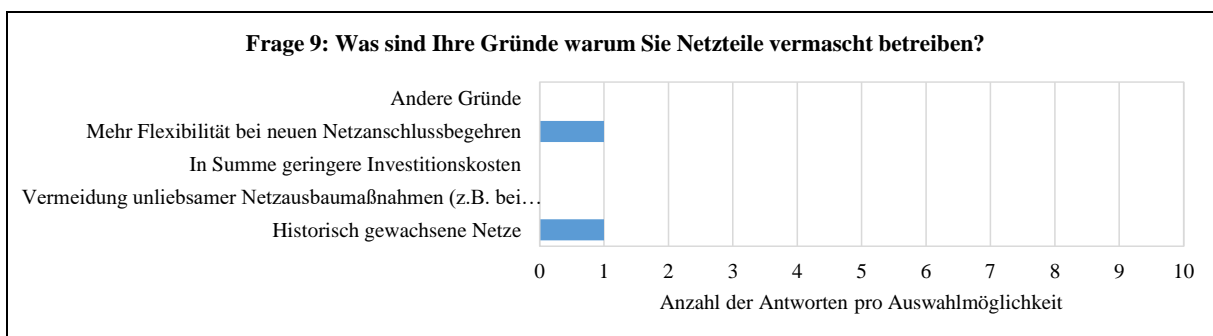


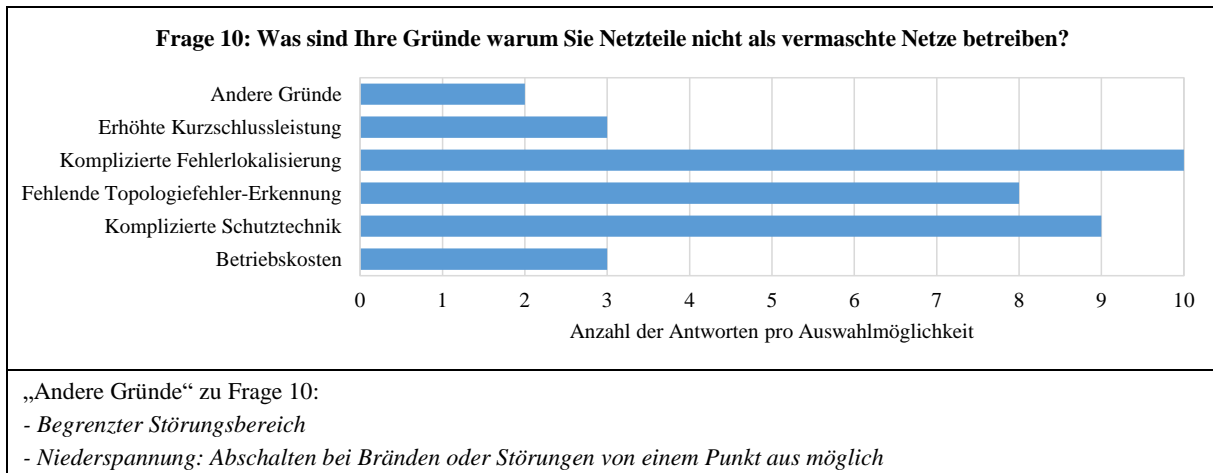
Tabelle 4: Gegenüberstellung der originalen und der gewichteten Mittelwerte zu Frage 8

Mittelwert original NS-Ebene	55,36 %
Mittelwert gewichtet NS-Ebene	90,18 %
Mittelwert original MS-Ebene	61,65 %
Mittelwert gewichtet MS-Ebene	91,41 %

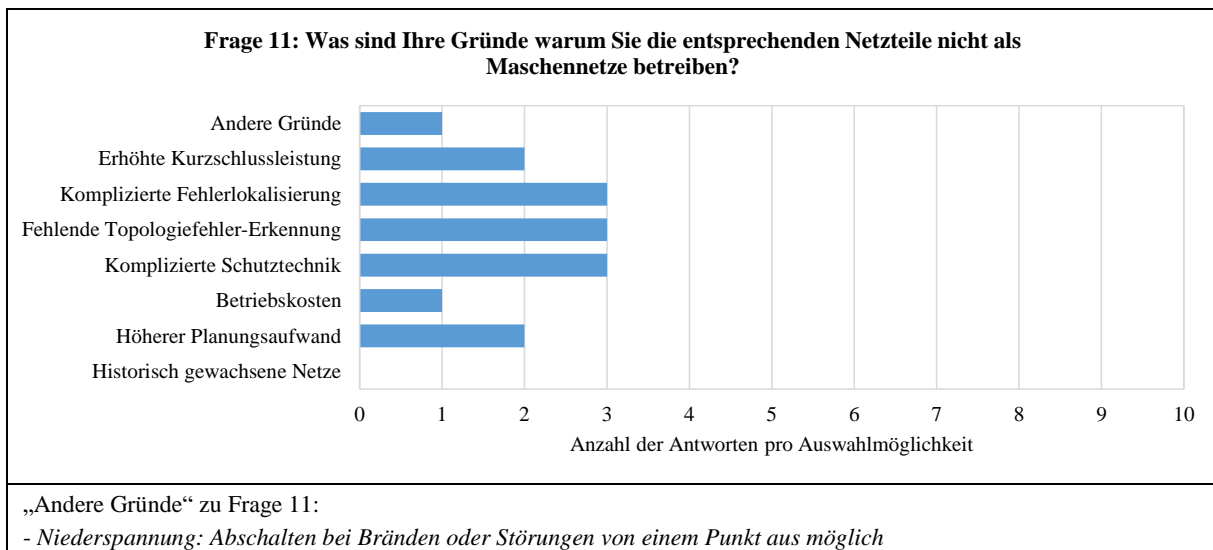
Ein Teilnehmer hat in Frage 3 das einfach gespeiste und geschlossen betriebene vermaschte Netz als vorherrschende Netztopologie angegeben, dieser gab zur NS-Ebene in Frage 7a auch über 60 % an. Ansonsten wurden keine geschlossen betriebene Netze als Antwort gegeben. Deshalb hat auch nur dieser Teilnehmer Frage 9 gestellt bekommen. Als Gründe für den vermaschten Betrieb gab dieser einmal die höhere Flexibilität bei neuen Netzanschlussbegehren sowie historisch gewachsene Netze an.



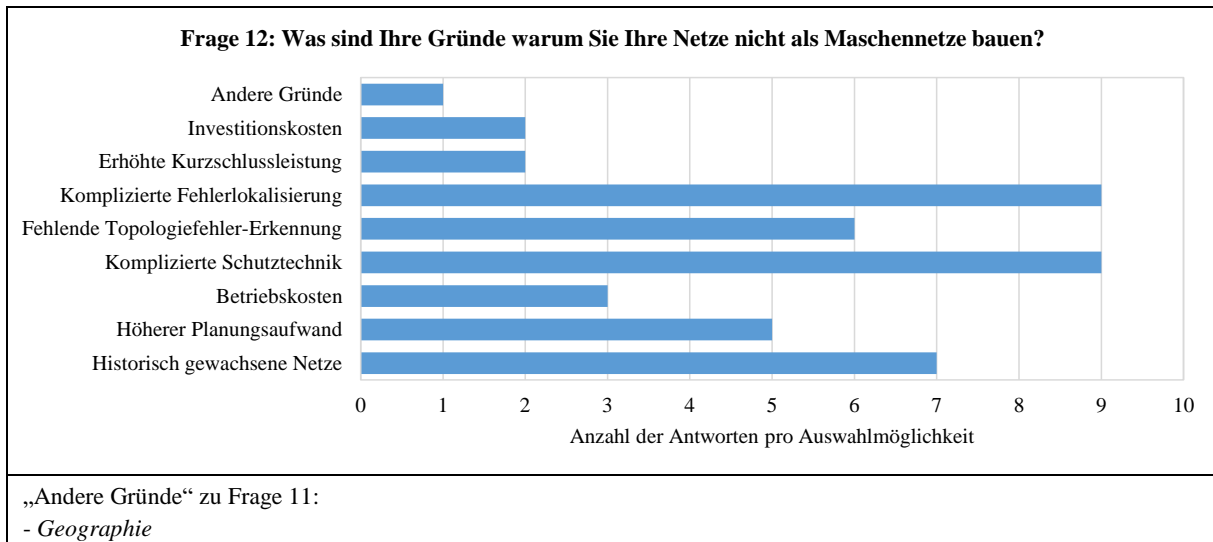
Die Frage zu den Gründen, warum Netzteile nicht als vermaschte Netze betrieben werden (Frage 10), wurden allen Teilnehmern gestellt. Es gilt zu beachten, dass jeder Teilnehmer mehrere Antworten geben konnte. Zehn Teilnehmer gaben die komplizierte Fehlerlokalisierung, neun die komplizierte Schutztechnik und acht die fehlende Topologiefehler-Erkennung als Gründe an. Jeweils drei Teilnehmer nannten zudem als Gründe die erhöhte Kurzschlussleistung sowie die Betriebskosten. Des Weiteren wurden zwei „Andere Gründe“ angegeben, welche auf den begrenzten Störungsbereich und dessen leichtere Abschaltung bei nicht vermaschten Netzen hinweisen.



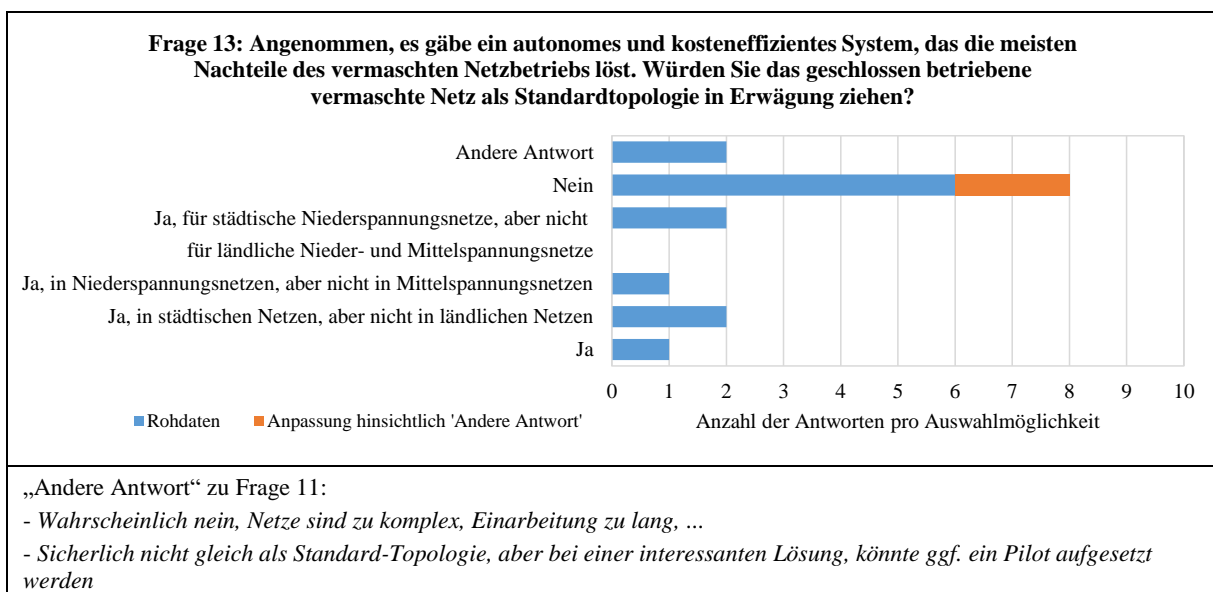
Die Frage zu den Gründen, warum Netzteile nicht als Maschennetze betrieben werden (Frage 11), wurde nur den drei Teilnehmern gestellt, welche mindestens einmal die Angabe offene Maschennetze zu betreiben gemacht haben. Alle gaben die komplizierte Fehlerlokalisierung, die komplizierte Schutztechnik und die fehlende Topologiefehler-Erkennung als Gründe an. Jeweils zwei nannten zudem die erhöhte Kurzschlussleistung sowie den höheren Planungsaufwand als Gründe an. Nur ein Teilnehmer gab ebenfalls die Betriebskosten als Grund an. Kein Teilnehmer gab historisch gewachsene Netze als Grund an. Zudem wurde unter „Andere Gründe“ ein zusätzlicher Grund genannt, welcher ebenfalls auf den begrenzten Störungsbereich zum restlichen Netz hinweist.



Frage 12 zu den Gründen, warum keine Maschennetze gebaut werden, wurde den Teilnehmern gestellt, die in Frage 3/4 bzw. Frage 5/6 nicht immer das Maschennetz als vorherrschende Netztopologie angegeben haben. Somit wurde allen Teilnehmer diese Frage gestellt. Fehlerlokalisierung und komplizierte Schutztechnik waren mit neun Antworten die meistgenannten Gründe. Mit sieben gegenüber sechs gemachten Antworten wurde „Historisch gewachsene Netze“ öfters genannt als „Fehlende Topologiefehler-Erkennung“. Fünf Teilnehmer gaben den höheren Planungsaufwand als Grund an. Drei Teilnehmer wählten die Betriebskosten und jeweils zwei Teilnehmer die Investitionskosten und die erhöhte Kurzschlussleistung. Ein Teilnehmer gab zudem als „Andere Gründe“ die Geographie vor Ort als Grund an, keine Maschennetze zu bauen.

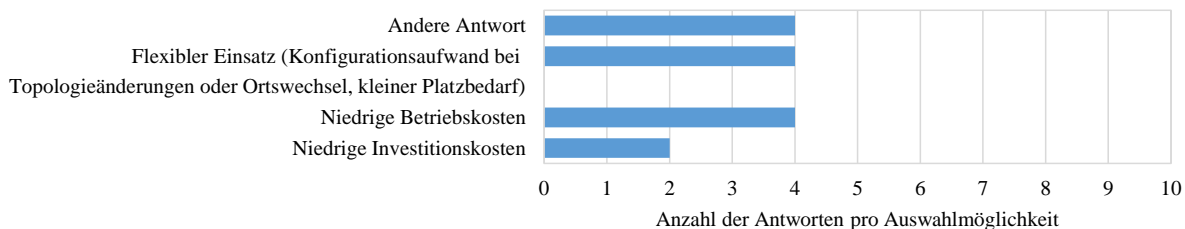


Frage 13 wurde allen Teilnehmern gestellt, die nicht zu den Fragen 3/4 bzw. Fragen 5/6 das geschlossen betriebene vermaschte Netz oder Maschennetz als vorherrschende Netztopologie angegeben haben. Somit haben alle Teilnehmer diese Frage gestellt bekommen. Die Frage zielt darauf ab, ob bei Vorhandensein eines hier nicht näher spezifizierten autonomen und kosteneffizienten Systems, welches aber die meisten Nachteile des vermaschten Betriebs lösen kann, dass vermaschte Netz als Standard-Topologie in Erwägung gezogen werden könnte. Die Mehrzahl von sechs Teilnehmern beantwortete die Frage mit „Nein“. Zwei gaben an, es für städtische aber nicht für ländliche NS-Netze zu erwägen. Zwei gaben an, es für städtische aber nicht für ländliche NS-Netze und MS-Netze zu erwägen. Ein Teilnehmer gab an, es für städtische und für ländliche NS-Netze, aber nicht für MS-Netze zu erwägen. Ein Teilnehmer beantwortete die Frage ohne Einschränkungen mit „Ja“. Zwei Teilnehmer gaben eine „Andere Antwort“, wobei beide Antworten eher der Antwort „Nein“ zuzuordnen sind.



Zu Frage 14 über die wichtigsten Anforderungen an ein solches System gab es keine eindeutig vorherrschende Antwort. Jeweils vier Teilnehmer gaben niedrige Betriebskosten sowie der flexible Einsatz (Konfigurationsaufwand bei Topologieänderungen oder Ortswechsel, kleiner Platzbedarf) als wichtigste Anforderung an. Jeweils zwei nannten niedrige Investitionskosten als wichtigste Anforderung. Vier Teilnehmer gaben „Andere Antwort“ an, wobei jeweils zwei sich in ihren Anforderungen decken: Geringe Komplexität/wenig Schulungsaufwand sowie typische Versorgungszuverlässigkeit analog zu anderen Netzkomponenten.

Frage 14: Was wäre die wichtigste Anforderung für ein solches System?



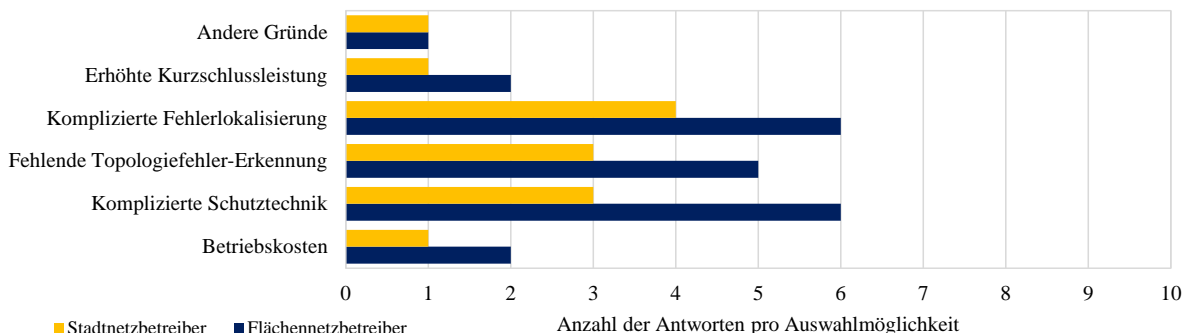
„Andere Antwort“ zu Frage 14:

- Einfache Struktur mit der jeder Mitarbeiter klarkommt
- Geringe Komplexität, die wenig Schulungsaufwand von Personalbedarf (vor allem wenn es eine Lösung auf NS-Ebene sein soll)
- Lebensdauer wie Primär-Betriebsmittel (50a)
- Hohe Versorgungszuverlässigkeit muss gegeben sein

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Fragen 10, 12, 13 und 14 noch einmal mit separierten Antworten der Stadt- und Flächennetzbetreiber gezeigt. Zu beachten ist die Anzahl von fünf Stadtnetzbetreibern zu neun Flächennetzbetreibern.

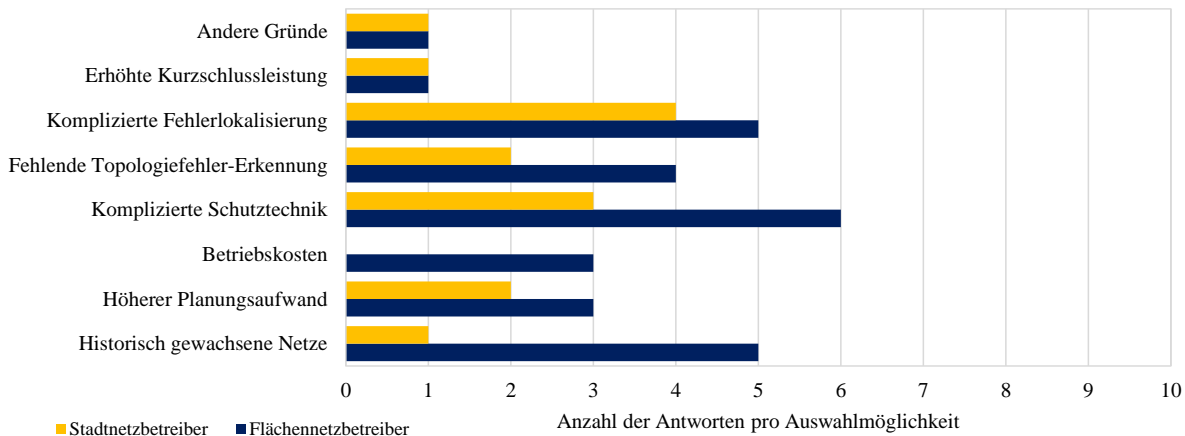
Zu Frage 10 sind die gemachten Antworten in etwa gleich verteilt. Beide Typen von Netzbetreibern geben die meisten Antworten in den Kategorien „Komplizierte Schutztechnik“, „Fehlende Topologiefehler-Erkennung“ und „Komplizierte Fehlerlokalisierung“.

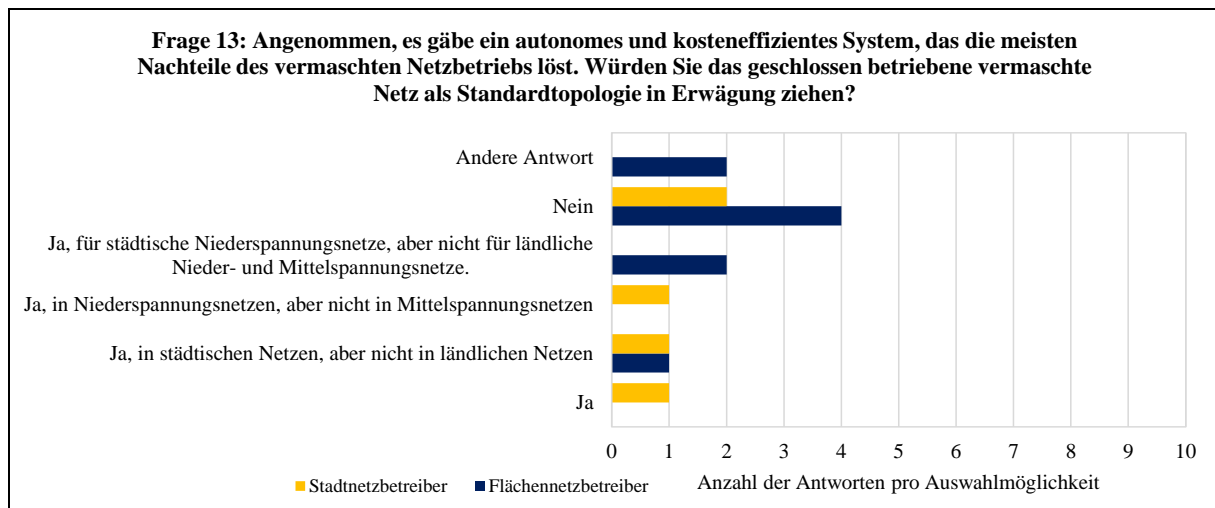
Frage 10: Was sind Ihre Gründe warum Sie Netzteile nicht als vermaschte Netze betreiben?



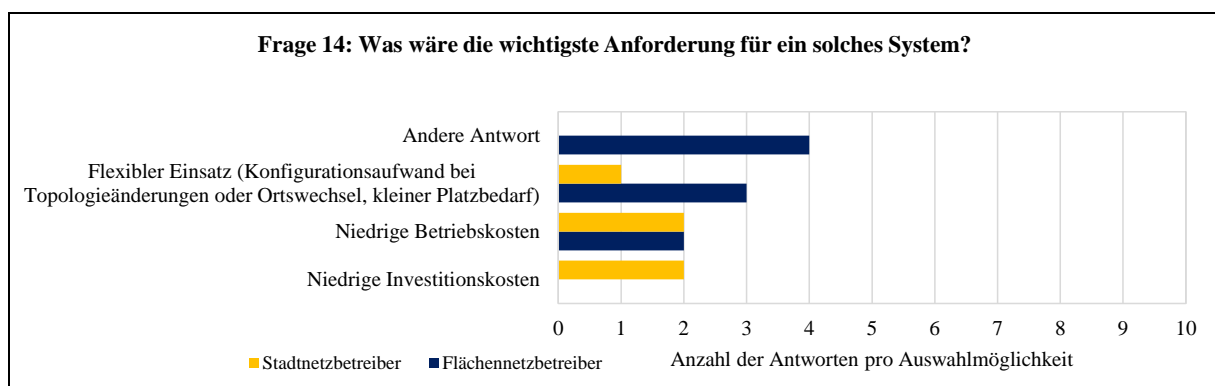
Zu Frage 12 sind zwei Punkte auffällig: Kein Stadtnetzbetreiber nannte die Betriebskosten als Grund und mehr als die Hälfte der Flächennetzbetreiber nannten „Historisch gewachsene Netze“ als Grund, wohingegen dies nur ein Stadtnetzbetreiber auswählte. Bei Frage 13 ist die Anzahl der Antworten pro Frage zu niedrig, um einen Vergleich anzusetzen.

Frage 12: Was sind Ihre Gründe warum Sie Ihre Netze nicht als Maschennetze bauen?





Zu Frage 14 ist auffällig, dass kein Flächennetzbetreiber die „niedrigen Investitionskosten“ als Grund nannte, wohingegen zwei Stadtnetzbetreiber dies als wichtigste Anforderung auswählten.



5 Diskussion

Während in Abschnitt 4 die Roh-Ergebnisse der Umfrage ohne tiefergehende Bewertung gezeigt wurden, erfolgt in diesem Abschnitt die Bewertung und die Ableitung der Erkenntnisse sowie deren kritische Betrachtung. In städtischen NS- und MS-Netzen gibt es eine Mehrheit für das mehrfach gespeiste und offen betriebene vermaschte Netz. Darauf weisen insbesondere die gewichteten Mittelwerte der Einschätzungen zu den Fragen 7 und 8 hin.

Der geschätzte Anteil von geschlossen betriebenen NS-Netzen beträgt im Mittel nur wenige Prozent, wobei ein Teilnehmer mit einer Angabe von über 60 % und ein weiterer mit über 20 % als „Ausreißer“ bezeichnet werden können. Der geschätzte Anteil offen betriebener vermaschter NS-Netze im gewichteten Mittel liegt hingegen bei über 60 %. Bei den ländlichen NS-Netzen gibt es eine Mehrheit von Strahlennetzen, jedoch gaben auch über 50 % der Teilnehmer an, hauptsächlich (einfach oder mehrfach gespeiste) offen betriebene vermaschte Netze zu betreiben.

Bei den MS-Netzen ist das Ergebnis noch eindeutiger. So ist der geschätzte Anteil von geschlossen betriebenen MS-Netzen noch geringer bzw. der geschätzte Anteil offen betriebener vermaschter MS-Netze noch größer als bei NS-Netzen. Insbesondere bei den ländlichen MS-Netzen handelt es sich vornehmlich um offen betriebene Netze mit einem Vermaschungsgrad größer gleich 1.

Im Prinzip zeigen die Ergebnisse der Umfrage eine Bestätigung der Angaben in der Literatur:

- Ländliche NS-Netze sind zumeist Strahlennetze oder offen betriebene vermaschte Netze;
- MS-Netze sind zumeist offen betriebene Ringnetze.

In Summe über alle gegebenen Antworten wurde jedoch zumeist das mehrfach gespeiste und offen betriebene vermaschte Netz als Standard-Topologie genannt. Dies zeigt, dass ein hohes Potential in der Aufnahmefähigkeit neuer Lasten oder neuer EEG-Anlagen in den Verteilnetzen existiert, sofern die Netze geschlossen betrieben werden können.

Zu den Gründen, warum nicht vermascht betrieben wird, wurden vornehmlich technische Gründe genannt. So spielen z. B. die eventuell höheren Betriebskosten bei den Teilnehmern keine große Rolle. Danach gefragt, ob bei Vorhandensein eines kosteneffizienten und autonomen Systems, welches die meisten dieser technischen Probleme löst, der vermaschte Betrieb als Standard-Topologie in Erwägung gezogen wird, verneinte dies mehr als die Hälfte der Teilnehmer. Die Antwort lässt jedoch Interpretationsspielraum zu, wie dies auch durch die zwei Antworten über die Option „Andere Antwort“ verdeutlicht wird. So ist die andere Antwort „Sicherlich nicht gleich als Standard-Topologie, aber...“ eine Aussage, die vielleicht einige der Teilnehmer, wenn danach gefragt, ebenfalls wählen würden. Immerhin gaben sechs der 14 Teilnehmer an, unter gewissen Einschränkungen den vermaschten Betrieb in Erwägung zu ziehen.

Es ist zu erwarten, dass bei einer zusätzlichen Frage „Würde das Vorhandensein eines solchen Systems den Anteil ihrer geschlossen vermascht betriebenen Netze steigern“ mehr als die Hälfte der Befragten zustimmen würden. Bei der Frage, welche Anforderungen an ein solches System am wichtigsten wäre, gab es keinen klaren Favoriten. Ein entsprechendes System müsste für eine breite Akzeptanz alle Anforderungen hinreichend erfüllen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Mehrzahl (acht von 14) auch hier technische Anforderungen und weniger monetäre Anforderungen wählte.

Es gilt zu beachten, dass die hier abgeleiteten Erkenntnisse keine absoluten Aussagen darstellen. Zum einen sind die Fragestellungen in der Umfrage nicht perfekt, sodass es bei manchen Antworten Interpretationsspielräume gibt (siehe z. B. Frage 13). Zum anderen können Probleme bei der Zuordnung der eigenen Netztopologien zu den hier aufgeführten Netztopologien nicht ausgeschlossen werden. Außerdem handelt es sich teilweise um keine trivialen Fragen, wodurch sich ggf. Antworten von Teilnehmern nach längerem Nachdenken oder zusätzlichen Erklärungen auch ändern könnten. Weiter ist zu beachten, dass mit 14 Teilnehmern bei über 800 Verteilnetzbetreibern in Deutschland die Umfrage nicht repräsentativ ist. Dennoch reichen die Teilnehmer nach Ansicht der Autoren aus, um eine Tendenz für die Bedenken und Wünsche in der Netzpraxis zu erhalten.

6 Fazit und Ausblick

Für den vermaschten Betrieb gibt es viel Potenzial in Bezug darauf, dass der Großteil der Netze offen betriebene vermaschte Netze oder gar Maschennetze sind. Die zumeist genannten Gründe gegen den vermaschten Betrieb lassen sich durch technische Lösungen beheben. Jedoch ist der Großteil der Teilnehmer skeptisch, dass diesen als Standard-Topologie in Erwägung zu ziehen, auch wenn es entsprechende technische Lösungen gäbe.

Nichtsdestotrotz sind auch viele Teilnehmer aufgeschlossen und die Ergebnisse der Umfrage zeigen eine klare Tendenz zu technischen Gründen, die gegen den vermaschten Betrieb sprechen. Diese können auch durch innovative technische Systeme gelöst werden. In Zukunft wird weiter an solchen Systemen gearbeitet. Verfolgt werden netzbetreibereigene Systeme sowie Systeme, die gewisse Kundenanlagen in Betracht ziehen. So könnten in Zukunft die Messdaten von der ohnehin zu verbauenden Smart-Meter-Infrastruktur zur Netzzustandsüberwachung genutzt werden, was die Probleme der fehlenden Topologiefehler-Erkennung und der erschwerten Fehlerlokalisierung im vermaschten Netz aufheben würde. Durch innovative Betriebsmittel wie etwa einen intelligenten Leistungsschalter oder einen Maschenstromregler lassen sich auch Probleme beim Netzschutz und der Störungseingrenzung beheben.

Letztendlich ist die Wirtschaftlichkeit (Gesamt-Investitions- sowie Betriebskosten) der wichtigste Treiber zukünftiger Entscheidungen. Diese Wirtschaftlichkeit ist bei neuen, innovativen Systemen immer schwierig einzuschätzen, da Erfahrungswerte über die gesamte Betriebszeit fehlen. Es liegt an der Forschung und Entwicklung, transparente und zuverlässige Testverfahren zu entwickeln, um zur besseren Akzeptanz in der Netzpraxis beizutragen.

7 Literatur

- [1] Adolf J. Schwab. Elektroenergiesysteme. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 6. Aufl. 2020. isbn: 978-3662603734.
- [2] Wolfgang Kaufmann. Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme. Berlin: VDE Verlag, 1. Aufl. 1995. isbn: 978-3800721412.
- [3] Klaus Heuck, Klaus-Dieter Dettmann und Detlef Schulz. Elektrische Energieversorgung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 9. Aufl. 2013. isbn: 978-3834816993.
- [4] Hermann Nagel. Systematische Netzplanung. Anlagentechnik für elektrische Verteilungsnetze. Berlin: VDE Verlag, 2. Aufl. 2008. isbn: 978-3800730872.