

ASNIDEA



Analysewerkzeug und
Strategieentwicklung
zur vereinfachten Netzintegration dezentraler
Einspeisung und zukünftiger Netzlasten

Einleitung und Motivation

Aufgrund veränderter politischer und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen steht die Energieversorgungsbranche aktuell vor tiefgreifenden Veränderungen.

Durch den Ausstieg aus der Kernenergie müssen Versorgungskonzepte mit erneuerbaren Energien in hohem Maße zeitnah umgesetzt werden. Die Energieumwandlung wird sich immer weiter von zentralen hin zu dezentralen Technologien entwickeln.

Diese dezentralen „Erzeugungsanlagen“ müssen in die elektrischen Verteilungsnetze integriert werden, ohne dass die Funktionsfähigkeit der Verteilungsnetze eingeschränkt wird. Dies betrifft insbesondere die Qualitätsmerkmale „Spannungsband“ nach DIN EN 50160 und „Systemzuverlässigkeit“ [1]. Neben der zunehmenden Anzahl von dezentralen Einspeisungen durch die Erzeugungsanlagen werden auch zusätzliche Anforderungen an die Verteilungsnetze und deren Betreiber durch die zukünftige individuelle Nutzung von Elektromobilität gestellt.

Die Netzbetreiber, die für die Netzqualität verantwortlich sind, können diese – insbesondere in der Niederspannung – nur anhand detaillierter, komplexer Lastflussberechnungen mit Hilfe rechnergestützter Netzberechnungsprogramme nachweisen. Hierzu müssen alle berechnungsrelevanten Daten wie Netztopografie, Netztopologie, Betriebsmittel sowie die Last- und Einspeisesituation komplett vorliegen, was oftmals für die Niederspannung nicht gegeben ist [2]. Dennoch muss gerade für die Netzspannung in Bezug auf die bestehenden Netze und zukünftigen Netzlasten (Elektromobilität, Wärmepumpen) und Einspeisungen (PV-Anlagen, BHKW-Anlagen) eine Aussage möglich sein [3] [4]. Im Forschungsprojekt ASNIDEA wird basierend auf realen Netzdaten ein Verfahren zur vereinfachten Netzberechnung – insbesondere zur Abschätzung der Netzspannung – nach Abbildung 1 erstellt.

Dieses vereinfachte Verfahren zur Netzberechnung wird im Folgenden näher dargestellt und erlaubt anhand einiger weniger Netzstrukturdaten und der Nutzung eines Expertensystems, das auf realen Netzdaten und Netzberechnungen beruht, eine Abschätzung der Netzspannung sowohl für den maximalen Einspeisefall (Spannungsanhebung) als auch für den maximalen Belastungsfall (Spannungsabsenkung) vorzunehmen.

Vorgehensweise

Zur Durchführung vereinfachter Netzberechnungen liegt dem Forschungsprojekt ASNIDEA die Annahme zugrunde, dass elektrische Verteilungsnetze, die sich in Aufbau und Struktur ähnlich sind, sich auch im Hinblick auf die Netzspannung ähnlich verhalten. Der schematische Ablauf des Verfahrens der Spannungsab-

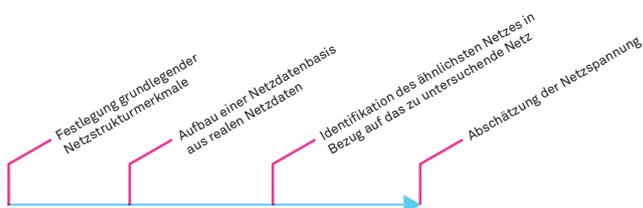


Abb. 1: Vereinfachtes Verfahren zur Spannungsabschätzung

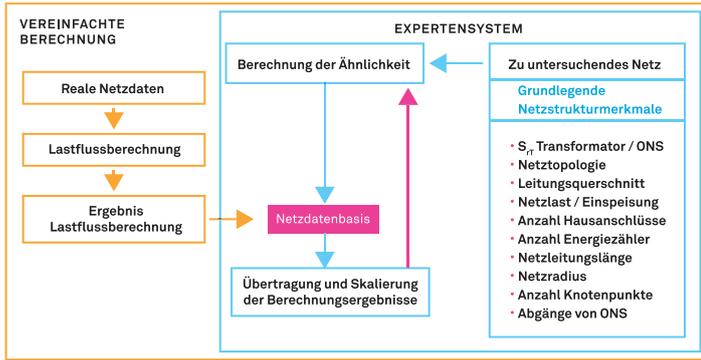


Abb. 2: Vereinfachte Netzberechnung

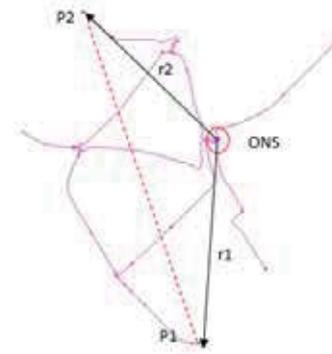


Abb. 3: Netzgeometrie

schätzung mit Hilfe der vereinfachten Netzberechnung im Rahmen des Forschungsprojektes ASNIDEA ist in der Abbildung 2 dargestellt.

Zur Abschätzung der Netzspannung wird das zu untersuchende Netz anhand ausgewählter Netzstrukturparameter mit realen Netzen (Netzdatenbasis) verglichen und die Berechnungsergebnisse des ähnlichsten realen Netzes auf das zu untersuchende Netz übertragen und gegebenenfalls skaliert. Die Datengrundlage des zu untersuchenden Netzes ist hierbei auf die einfachen Strukturparameter beschränkt. Somit ist dieses Netz aufgrund der unvollständigen Datenlage nicht mit einem Netzberechnungsprogramm berechenbar. Zur Selektion des ähnlichsten Netzes muss aufgrund der Mehrzahl von Strukturmerkmalen ein geeignetes mathematisches Vergleichsverfahren ausgewählt werden.

Auswahl und Festlegung der möglichen Netzstrukturparameter

Parallel zum Aufbau der Netzdatenbasis mit Hilfe der komplexen Netzberechnungen der realen Netze werden die unterschiedlichen Strukturmerkmale festgelegt, die im Folgenden aufgelistet sind.

Netztopologie

Dieses Merkmal ordnet dem elektrischen Verteilnetz hinsichtlich Struktur und Aufbau eine Topologieform zu. Hierbei wird im Forschungsprojekt zwischen den zwei netztopologischen Ausprägungen Strahl- und Maschennetz unterschieden. Jede Form besitzt ihre spezifischen Vor- und Nachteile hinsichtlich der Versorgungszuverlässigkeit und den Kosten. [5]

Maximale Netzbelastung bzw. Netzeinspeisung

Mit diesem Merkmal wird die maximale Belastung bzw. die maximale Einspeiseleistung des Niederspannungsnetzes berücksichtigt.

Bemessungsleistung S_{rT} des Ortsnetztransformators

In diesem Merkmal wird die Bemessungsleistung S_{rT} des Transformators der Ortsnetzstation (ONS) in kVA angegeben. Die Bemessungsleistung des Transformators geht in die Berechnung der Ersatzimpedanz des Transformators mit ein und beeinflusst die Spannungshaltung im nachgelagerten Niederspannungsnetz.

Abgänge von der Ortsnetzstation

Weiterhin wird die Anzahl der abgehenden Leitungssträn-

ge von der Niederspannungsschiene der Ortsnetzstation als Strukturmerkmal festgelegt.

Anzahl der Hausanschlüsse und der Energiezähler

Zwischen der Anzahl der Hausanschlüsse und der Energiezähler wurde eine Unterscheidung getroffen, da die Analyse der realen Verteilungsnetze gezeigt hat, dass die Anzahl dieser Merkmale innerhalb eines Verteilungsnetzes voneinander abweichen kann. Ein Mehrfamilienhaus verfügt netztechnisch betrachtet lediglich über einen Anschluss, kann aber über mehrere Energiezähler verfügen.

Anzahl der Knotenpunkte

Die Anzahl der Knotenpunkte beziffert die Verzweigungspunkte in einem elektrischen Netz. Die Sammelschienen von Ortsnetzstationen und Kabelverteilerschränken und Verzweigungsmuffen sind Beispiele solcher Knotenpunkte.

Netzleitungslänge

Hier wird die aus den verlegten Leitungen resultierende gesamte Netzlänge eines einzelnen Verteilungsnetzes in Kilometern angegeben.

Leitungstyp (Querschnitt)

Dieses Merkmal teilt den vorrangig verlegten Leitungstyp in Bezug auf den Querschnitt in die Bereiche klein, mittel und groß ein. Somit kann grob die Leitungsimpedanz berücksichtigt werden.

Netzradien r_1 und r_2

Der Ansatz, mit Hilfe zweier Radien die Netzgeometrie realistischer abzubilden, wurde bereits in einem Ansatz des Projektpartners ABB angewandt. Bei r_1 handelt es sich um den Abstand der Ortsnetzstation zum entlegensten Knotenpunkt des Netzes. Dieser wird hier als P1 bezeichnet. Zur Bestimmung von r_2 wird in einem zweiten Schritt der entlegenste Knotenpunkt vom vorher bestimmten Punkt P1 ermittelt (P2). Im Anschluss wird der Abstand von P2 zur Ortsnetzstation gemessen (s. Abbildung 3).

Aufbau einer Netzdatenbasis aus realen Netzdaten

Zunächst werden mit Hilfe realer Niederspannungsnetzdaten detaillierte, komplexe Netzberechnungen mit dem Netzberechnungsprogramm Neplan durchgeführt. Das Netzberechnungsprogramm liefert für das gegebene Netz (Ist-Daten) mit seinen Netzstrukturdaten als Ergebnis die Spannungen an allen Netzknoten. Die Lastflussergebnisse und die wichtigsten

Netzstrukturmerkmale werden exportiert und in einer Datenbasis nach Abbildung 4 abgelegt.

Zur Erweiterung der Datenbasis werden die realen Netze in Bezug auf die Netzstrukturdaten variiert, der Lastfluss berechnet und auch wieder die Ergebnisse und Strukturmerkmale archiviert. Diese Netze sind synthetisch, beruhen aber auf realen Ausgangsdaten.

Identifikation des ähnlichsten Netzes in Bezug auf das zu untersuchende Netz

Die dem Forschungsprojekt ASNIDEA zugrunde liegende Annahme, dass sich in Struktur und Aufbau ähnelnde Verteilungsnetze sich ebenfalls im Hinblick auf ihr Spannungsverhalten ähneln, bedarf eines Verfahrens, mit dem die Ähnlichkeit zweier Verteilungsnetze bestimmt werden kann.

Bevor zwei Verteilungsnetze hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit verglichen werden können, muss sichergestellt werden, dass die Netztopologie, die Bemessungsleistung des Transformators und die grob in die drei Cluster unterteilten Leitungstypen und Querschnitte der Netze übereinstimmen. Weisen Netze in diesen Merkmalen unterschiedliche Ausprägungen auf, ist eine sinnvolle Vergleichbarkeit hinsichtlich der Spannungsschwankungen nicht gegeben. Aus diesem Grund werden Verteilnetze vor der Bestimmung der Ähnlichkeit mittels einer Fallunterscheidung auf Übereinstimmung dieser Merkmale überprüft. Da die übrigen Netzstrukturmerkmale metrisch skaliert sind, wird die euklidische Distanz der Verteilnetze zur Bestimmung der Ähnlichkeit berechnet. Die euklidische Distanz ist ein allgemein gebräuchliches und anerkanntes Ähnlichkeitsmaß für metrische Variablen. [6]

Die Vorselektion durch die Fallunterscheidung mit der anschließenden Berechnung der euklidischen Distanz wird für die gesamte Netzdatenbasis durchgeführt. Je kleiner die euklidische Distanz zweier Elektroenergienetze, desto ähnlicher sind diese zueinander. [7] Die Ähnlichkeitsbestimmung von Elektroenergienetzen ist in ihren Schemata der Abbildung 5 zu entnehmen.

Mit Hilfe dieses Verfahrens wird für ein zu untersuchendes Verteilungsnetz, für das nur einfache Strukturdaten vorliegen und dessen Spannungen daher nicht berechnet, sondern nur abgeschätzt werden können, jeweils das ähnlichste Verteilungsnetz aus der Netzdatenbasis selektiert. Dieses Netz aus der Datenbasis besitzt im Hinblick auf das zu untersuchende Netz die geringste euklidische Distanz der Netzstrukturparameter.

Abschätzung der Netzspannung

An dieser Stelle wird eine Abschätzung der Spannungsschwankung für das jeweils zu untersuchende Niederspannungsnetz erstellt. Zu diesem Zweck wird die in der Datenbasis hinterlegte maximale Spannungsänderung des zuvor ermittelten ähnlichsten Niederspannungsnetzes entsprechend skaliert.

Untersuchung zur Skalierung

Prinzipiell können die Strukturmerkmale Netzlast / Einspeisung, Anzahl Hausanschlüsse, Anzahl Energiezähler, Netzleitungslänge und Netzhradius zur Skalierung herangezogen werden. Aktuell wird bisher nur das Strukturmerkmal Netzlast / Einspeisung be-

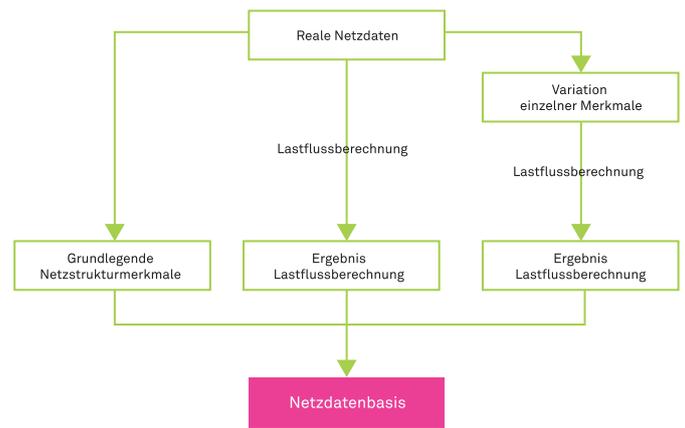


Abb. 4: Aufbau der Datenbasis

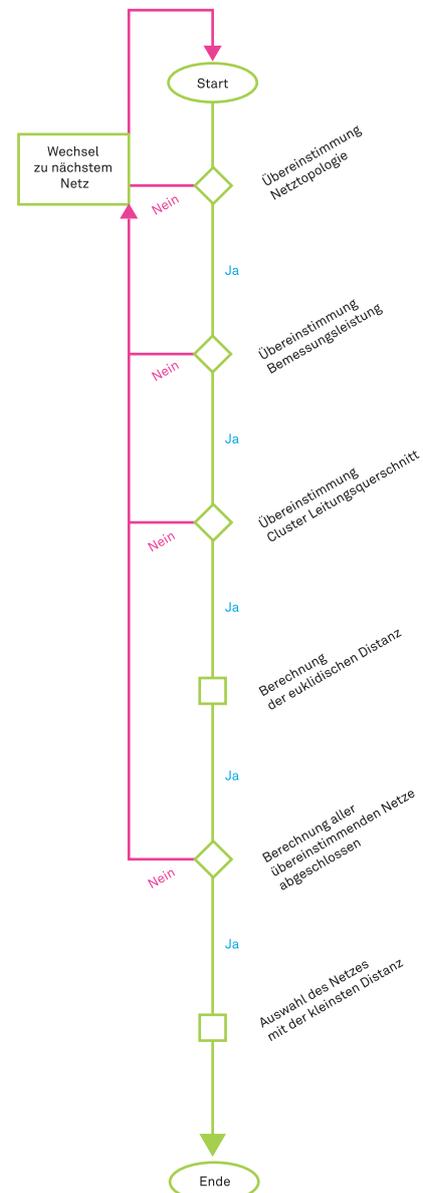


Abb.5: Identifikation des ähnlichsten Elektroenergienetzes

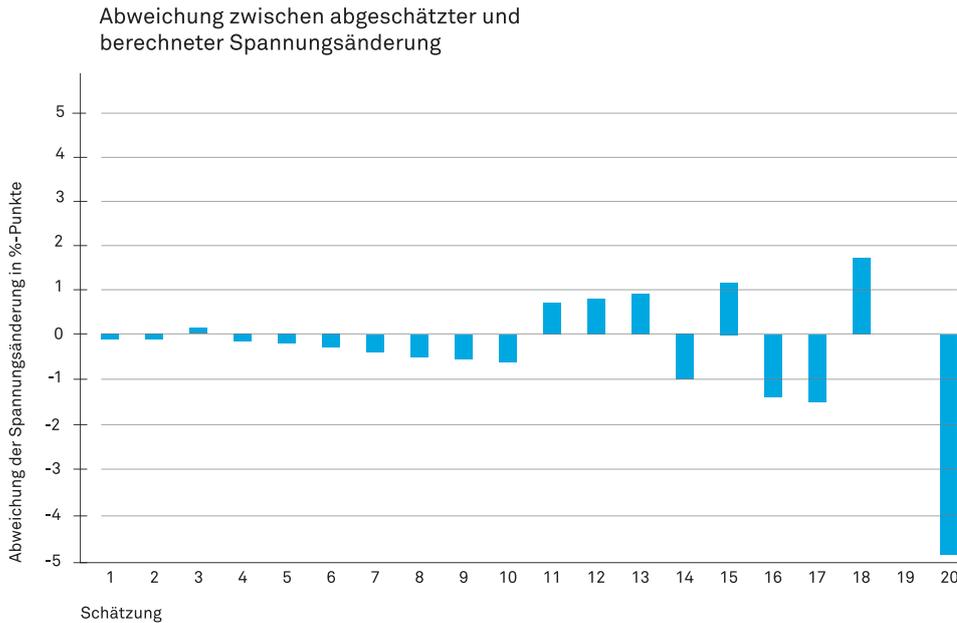


Abb. 6: Ergebnisse der vereinfachten Netzberechnung

rücksichtigt. Detaillierte Lastflussberechnungen realer Niederspannungsnetze mit Variationen der Netzlast bzw. Einspeisung ergaben, dass die prozentuale Spannungsänderung annähernd proportional abhängig ist.

Beispielsweise führt eine Verdoppelung der Netzlast zu einer annähernden Verdoppelung der prozentualen Spannungsänderung.

Die Spannungsänderung des ähnlichsten Niederspannungsnetzes wird gemäß dieser Analyse in einem ersten Schritt wie folgt skaliert (s. Gleichung 1.1).

$$\Delta u = \Delta u_{\text{ref}} \cdot S / S_{\text{ref}} \quad (1.1)$$

Δu : prognostizierte Spannungsschwankung im zu untersuchenden Elektroenergienetz in %

Δu_{ref} : Spannungsschwankung im ähnlichsten Elektroenergienetz in %

S : im zu untersuchenden Elektroenergienetz angeschlossene Leistung

S_{ref} : im ähnlichsten Elektroenergienetz angeschlossene Leistung

Um die Abschätzung der Spannungsänderung zu verbessern, müssen in einem nächsten Schritt die übrigen oben angeführten Netzstrukturmerkmale hinsichtlich ihrer Signifikanz untersucht werden und gegebenenfalls in der Gleichung 1.1 Berücksichtigung finden.

Erste ausgewählte Ergebnisse

Im Folgenden wird das vorgestellte Verfahren exemplarisch näher untersucht. Hierzu wird ein zu untersuchendes Niederspannungsnetz zufällig aus der Datenbasis entnommen. Für dieses Netz wird die Spannungsänderung abgeschätzt und mit der berechneten Spannungsänderung verglichen. Um in der Datenbasis nicht das gleiche Netz zu finden, wird das zu untersuchende Netz vorübergehend aus der Datenbasis entfernt. Diese Untersuchung wird insgesamt für 20 zufällig ausgewählte Netze wiederholt. Nachdem jeweils das ähnlichste Netz gefunden worden ist, erfolgt eine Skalierung der Spannungsänderung in Bezug auf die Netzbelastung bzw. Einspeiseleistung nach Gleichung 1.1.

In Abbildung 6 sind die prozentualen Spannungsabweichungen der vereinfachten Netzberechnung zu den Ergebnissen der konventionellen Netzberechnung für die 20 ausgewählten Netze dargestellt.

Der Abbildung 6 ist zu entnehmen, dass die Vorgehensweise der vereinfachten Netzberechnung Ergebnisse in unterschiedlicher Güte liefert. Trotz vieler zufriedenstellender Ergebnisse sind auch einige Ausreißer, welche eine große Differenz in den Ergebnissen der konventionellen zu der vereinfachten Netzberechnung aufweisen, zu erkennen.

Die vereinfachte Netzuntersuchung 3 weist beispielsweise nur eine geringe Abweichung zwischen abgeschätzter und be-



Abb. 7: Netz 3a



Abb. 8: Netz 3b

Netzstrukturmerkmal	Schätzung 3	
	Netz 3a	Netz 3b
S_T Transformator ONS	630 kVA	630 kVA
Netztopologie	Stadtnetz	Stadtnetz
Leitungsquerschnitt	groß	groß
Anzahl Anschlüsse	32	37
Anzahl Zähler	200	209
Knotenpunkte	9	8
Netzlänge	0,9 km	1,2 km
Anzahl Abgänge ONS	8	7
R_1	180 m	198 m
R_2	94 m	139 m

Tabelle 1

rechnerischer Spannungsänderung auf. Die Netzstrukturdaten des zu untersuchenden Netzes und des ähnlichsten Netzes sind, abgesehen von der skalierten Netzbelastung bzw. Einspeisung, sehr ähnlich (s. Tabelle 1, Abbildungen 7 und 8).

Die vereinfachte Netzuntersuchung 20 weist große Abweichungen von fast 5%-Punkten zwischen der Schätzung der Spannungsänderung und der berechneten Spannung auf. Die berechnete Spannungsänderung ist höher als die abgeschätzte. Auch hier sind nach Tabelle 2 keine signifikanten Abweichungen der Netzstrukturdaten erkennbar.

Eine Erklärung ergibt sich bei einer genaueren Betrachtung der Netze (Abbildungen 9 und 10). Das zu untersuchende Netz in 9 weist nur eine Masche (zwei parallele Leitungen) auf und war aber fälschlicherweise dem Netzstrukturmerkmal „Maschennetz“ zugeordnet worden, obwohl es überwiegend ein „Strahlennetz“ darstellt. Das in der Datenbasis gefundene Vergleichsnetz (Netz 10) hat überwiegend die Netzform „Maschennetz“. In Maschennetzen sind aufgrund der geringeren Netzimpedanz bei gleicher Netzbelastung bzw. Einspeisung die Spannungsänderungen geringer als in vergleichbaren Strahlennetzen, so dass sich bei der Abschätzung 20 eine zu geringe Spannungsänderung ergibt.

Zusammenfassung und Ausblick

In dem Forschungsprojekt ASNIDEA wurde bisher ein Verfahren entwickelt, das mit Hilfe realer Netzdaten eine Abschätzung der maximalen Spannungsänderungen erlaubt, obwohl für die zu untersuchenden Netze nur unvollständige und wenige Informationen in Form von einfachen Netzstrukturdaten vorliegen. Für die Untersuchung wurde der Extremfall der maximalen Netzbelastung bzw. der maximalen Netzeinspeisung angenommen. Die ersten Ergebnisse zeigen die praktische Anwendbarkeit und prinzipiell die Zulässigkeit des gewählten Verfahrens.

Für einige Netze sind jedoch Abschätzungen zu beobachten, die sehr stark vom berechneten Vergleichswert abweichen. Die Ursachen für diese Abweichungen müssen noch detaillierter analysiert und im Verfahren berücksichtigt werden. Wie im Beispiel gezeigt, kann eine fehlerhafte Zuordnung zur Netzform zu fehlerhaften Abschätzungen führen. Daher stellt sich die Frage, ob die beiden Netzformen Strahl- und Maschennetz ausreichend sind und wie Mischformen berücksichtigt werden können. Eine Erweiterung der Datenbasis wird zu verbesserten Abschätzungen führen. Durch das Verfahren wird immer ein ähnlichstes Netz gefunden, ohne diese Ähnlichkeit näher zu quantifizieren. Daher soll in einem weiteren Schritt eine Art Grenzwert für die euklidische Distanz ermittelt und festgelegt werden. Wird dieser Grenzwert überschritten, ist das ähnlichste Netz für die Abschätzung der Spannung ungeeignet und das beschriebene Verfahren nicht anwendbar. Des Weiteren kann eine Erweiterung bzw. Verfeinerung der Skalierungsformel 1.1 mit weiteren Netzstrukturmerkmalen zu besseren Abschätzungen führen, was zukünftig noch genauer untersucht werden soll.

Text: M. Sc. Johannes Altmayer,

M. Sc. Oliver Müller,

Prof. Dr.-Ing. Rudolf Friedrich,

Dr.-Ing. Martin Maximini, Siemens AG (ehemals ABB AG)



Abb. 9: Netz 20a

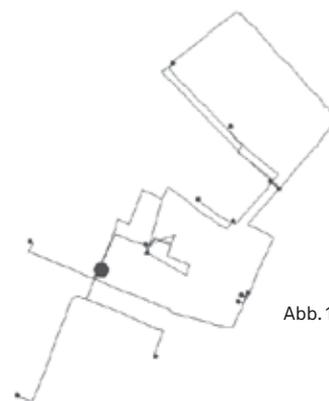


Abb. 10: Netz 20b

Netzstrukturmerkmal	Schätzung 20	
	Netz 20a	Netz 20b
S_{IT} Transformator ONS	630 kVA	630 kVA
Netztopologie	Vermascht	Vermascht
Leitungsquerschnitt	mittel	mittel
Anzahl Anschlüsse	42	52
Anzahl Zähler	42	52
Knotenpunkte	17	17
Netzlänge	1,7 km	2,6 km
Anzahl Abgänge ONS	6	6
R_1	338 m	294 m
R_2	105 m	88 m

Tabelle 2

[1] DIN EN 50160, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, 2010.

[2] M. Maximini, „Abschätzung der Spannungsanhebung in Niederspannungsnetzen ohne Netzberechnung – Neue Prozesse bei den Stadtwerken Duisburg Netzgesellschaft mbH,“
Energiewirtschaft, Heft 13 2013.

[3] A. Slupinski, „Maximale Spannung im Netz zuverlässig abschätzen,“ ETZ, Heft S2 2014.

[4] R. Bäsman, „Aspekte der Spannungsqualität bei der Einbindung von dezentralen Energieerzeugungsanlagen,“ München, 2008.

[5] A. J. Schwab, Elektroenergienetze, Geidelberg: Springer, 2012.

[6] S. Vollnhals und P. Stein,
„Grundlagen clusteranalytischer Verfahren,“
Institut für Soziologie – Universität
Duisburg-Essen, 2011.

[7] G. Faes, „faes.de,“ [Online]. Available: <http://faes.de/Basis/Basis-Lexikon/Basis-Lexikon-Distanz/basis-lexikon-distanz.html>. [Zugriff am 3 Februar 2017].