

# **Modellierung von Referenznetzen in der Niederspannungsebene**

**Diplomarbeit für die Prüfung zum Diplom-Ingenieur**

an der Fachhochschule Köln

University of Applied Science Cologne

Fakultät für Informations-, Medien- und Elektrotechnik

Institut für Elektrische Energietechnik

Vorgelegt von

**Kenan Mustafa Demirel**

Matrikelnummer 11037379

Durchgeführt in der FH Köln

Februar 2013

Diese Arbeit wurde in der Zeit von November 2012 bis Februar 2013 an der Fakultät für Information-, Medien- und Elektrotechnik der Fachhochschule Köln University of Applied Science Cologne unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt angefertigt.

Referent: Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt  
Korreferent: M.Sc. Sergej Baum

Abgabedatum: 15.02.2013

Hiermit versichere ich, Kenan Mustafa Demirel, dass ich die Diplomarbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen und bei Zitaten kenntlich gemachten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

---

Kenan Mustafa Demirel

## **Danksagung**

Ich möchte mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt für die Vergabe dieses interessanten Themas bedanken.

Anschließend bedanke ich mich bei allen Mitarbeiter des Labors für Erneuerbare Energien und Energiewirtschaft, die mir beim Erreichen meiner Ziele behilflich waren.

## Inhaltverzeichnis

1. Einleitung.....	6
1.1 NEPLAN .....	7
1.2 Elektroenergiesysteme, Verbundsysteme .....	8
1.2 Niederspannungsnetz.....	9
1.3 Netzform.....	10
1.3.1 Strahlennetz.....	10
1.3.2 Ringnetz .....	10
1.3.3 Maschennetz .....	11
2. Betriebsmittel.....	12
2.1 Transformator.....	12
2.2 Schaltungen und Schaltgruppen.....	13
2.3 Kabel / Leitungen.....	14
2.4 Abzweigmuffe .....	14
2.5 Schaltgeräte .....	15
2.6 Hausanschlüsse.....	17
2.7 Beanspruchbarkeit der Betriebsmittel .....	18
3. Lasten .....	19
3.1 Gleichzeitigkeitsfaktor .....	19
3.2 Schätzung der Maximallast.....	19
3.3 Lastprofile .....	20
4. Siedlungsstruktur .....	21
4.1 Siedlungstyp A Wohnplätze und Streusiedlungen .....	22
4.2 Siedlungstyp B Dörfer mit überwiegend Gehöften .....	23
4.3 Siedlungstyp C Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte .....	24
4.4 Siedlungstyp D Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte und Dorfkern .....	25
4.5 Siedlungstyp E Reihenhaussiedlung .....	26
4.6 Siedlungstyp F Zeilenbebauung mittlerer Dichte .....	27
4.7 Siedlungstyp G Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser.....	28
4.8 Siedlungstyp H Blockbebauung .....	29
4.9 Siedlungstyp I Mittelalterliche Altstadt .....	30
5. Parameter zur Modellierung von Nieder- spannungsnetzen.....	31
5.1 Stationstransformator .....	31
5.2 Anzahl der Leitungsabgänge von der Netzstation.....	32
5.3 Länge der Netzstrahlen und Netzstrahlabschnitte.....	33

5.4 Abstand benachbarter Hausanschlüsse .....	34
5.5 Wohneinheiten je Hausanschluss.....	35
6. Modellierung von Niederspannungsnetzbezirken .....	36
6.1 Modellierung eines Netzbezirks für den Siedlungstyp A.....	37
6.2 Modellierung eines Netzbezirks für den Siedlungstyp B.....	38
6.3 Modellierung eines Netzbezirks des Siedlungstyps C .....	39
6.4 Modellierung eines Netzbezirks des Siedlungstyps D .....	40
6.5 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp E .....	41
6.6 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp F .....	42
6.7 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp G .....	43
6.8 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp H .....	44
6.9 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp I .....	45
7. Exemplarische Netze .....	46
7.1 Exemplarisches Netz 1 .....	46
7.2 Exemplarisches Netz 2 .....	47
7.3 Exemplarisches Netz 3 .....	48
8. Vergleich der Exemplarischen Netze mit den Modellierten Referenznetzen.....	49
8.1 Vergleich des Siedlungstyp B (Dörfer mit überwiegend Gehöften) .....	49
8.2 Vergleich des Siedlungstyp C (Ein- und Zweifamilienhaus-siedlung niedriger Dichte) ..	50
8.3 Vergleich des Siedlungstyp D (Zweifamilienhaussiedlung hoher Dichte mit Dorfkern) ..	51
8.4 Vergleich des Siedlungstyp G (Zeilenbebauung hoher Dichte) .....	53
8.5 Vergleich des Siedlungstyp H (Blockbebauung) .....	54
9. Zusammenfassung.....	56
Anhang .....	57
Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp B.....	57
Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp C.....	57
Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp D .....	58
Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp G .....	59
Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp H .....	59
Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp C.....	60
Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp D .....	61
Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp G .....	62
Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp H .....	63
Exemplarisches Netz 3 für den Siedlungstyp C.....	64
Quellenverzeichnis .....	65
Abbildungsverzeichnis.....	66

# 1. Einleitung

Eine zentrale Zielsetzung der deutschen Energiepolitik ist die Schaffung und Gewährleistung geeigneter Rahmenbedingungen für die sichere, preiswerte und umweltverträgliche Versorgung mit Elektrizität. Diese Zielsetzung geht mit den europäischen und nationalen Zielen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zur Begrenzung des Klimawandels und den Beschlüssen zum Ausstieg aus der Kernenergienutzung in Deutschland bis 2022 einher.

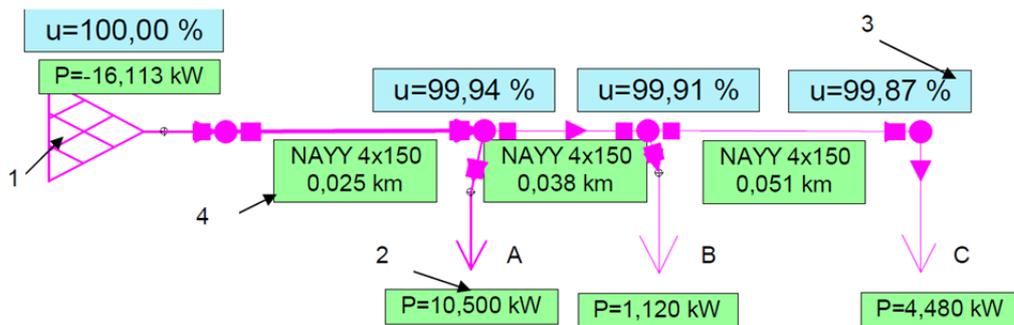
In Deutschland wird der Aufbau regenerativer Stromerzeugungsanlagen sehr erfolgreich vorangetrieben und soll auch zukünftig weiter angestrebt werden. Während in der Vergangenheit die Übertragung der Leistung im deutschen Stromnetz von der Höchst- und Hochspannungsebene in die Mittel- und Niederspannungsnetze erfolgte, kehren sich vor dem Hintergrund der zunehmenden dezentralen (vorrangig regenerativen) Erzeugung die Leistungsflüsse dahingehend um, dass zeitweise signifikante Flüsse von niedrigen Netzebenen in höhere Netzebenen entstehen.

In dieser Arbeit soll nun ein Verfahren zur Modellierung von Niederspannungsreferenznetzen ausgearbeitet werden welche typische Eigenschaften real existierender Niederspannungsnetze aufweisen um eine Grundlage für Simulationen zu erzeugen. Anhand der in der Dissertation „Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten“ von Dipl.-Ing. Jörg Scheffler ermittelten Parameter für verschiedene Siedlungsstrukturen wird in dieser Arbeit eine Methodik vorgestellt mit deren Hilfe Referenznetze modelliert werden. Referenznetze dienen als Werkzeuge um Aussagen für die Belastung der eingesetzten Betriebsmittel treffen zu können und welche Maßnahmen getroffen werden können um eine Überlastung zu vermeiden.

## 1.1 NEPLAN

„NEPLAN wird bei der Analyse, der Planung, der Optimierung und der Verwaltung von Energieversorgungsnetzen, Gas- und Wassernetzen verwendet. Durch die Verwendung zeitabhängiger Skalierungsfaktoren und den VDEW-Lastprofilen kann das Verfahren der Lastflussberechnung noch weiter verfeinert werden. Weiterhin gibt es die Möglichkeit Kurzschlussstromberechnungen, Spannungsstabilitätsprüfungen, Ausfallrechnungen und Zuverlässigkeitsanalysen durchzuführen.

Mit Hilfe von NEPLAN soll zu einem späteren Zeitpunkt die Veränderung des Lastflusses untersucht werden, wenn die Teilnetze mit Blockheizkraftwerken ausgestattet werden. Aus diesem Grund werden Lastflussberechnungen unter Berücksichtigung der Lastprofile des VDEW für jede Jahreszeit (Winter, Sommer und Übergangszeit) und für unterschiedliche Wochentage (Werktag, Samstag und Sonntag) durchgeführt. Beispielhaft werden im folgenden Bild die sich ergebenden Elemente von NEPLAN beschrieben [18]“.



- 1: Netzeinspeisung 20/0,4 kV
- 2: Last oder Verbraucher
- 3: Knotenspannung in % gemäß der Lastflussberechnung
- 4: Typ und Länge der Kabel.

Abbildung 1.1 Darstellung eines Netzausschnittes in Neplan [18]

## 1.2 Elektroenergiesysteme, Verbundsysteme

Elektrizität wird über ein geschlossenes Netz von Leitungen innerhalb verschiedenen Spannungsebenen transportiert. Die Spannungsumwandlungen werden von Transformatoren durchgeführt und landesangrenzende Netze werden durch Kuppelstellen miteinander verbunden.

Der von Großherzeugern produzierte Strom wird in Höchstspannung (230 kV bzw. 400 kV) via überregionale Transportnetze an Umspannwerke in der Nähe von Verbrauchszentren geliefert. Die Umspannwerke leiten den Strom in derselben Spannung ins Ausland um oder transformieren ihn auf Hochspannung (50 kV bis 150 kV) für den Weitertransport im Inland. Die Grobverteilung des Stroms erfolgt schließlich über Hochspannung. An Hochspannungsnetze werden Ballungszentren und Großindustrien angeschlossen, des Weiteren wird der Hochspannungsstrom über Transformatoren in Mittelspannung (6 kV bis 30 kV) umgewandelt. Zudem speisen auch kommunale, regionale bzw. Kleinerzeuger ihren Strom ins Mittelspannungsnetz. Dieses Mittelspannungsnetz wird wiederum zur Feinverteilung in Niederspannung (230 V bzw. 400 V) transformiert, mit der insbesondere Kleinverbraucher (Haushalte, Gewerbe, Landwirtschaft) versorgt werden. Dadurch ergibt sich eine Hierarchische Spannungsebenen Aufteilung siehe Abb.1.2.

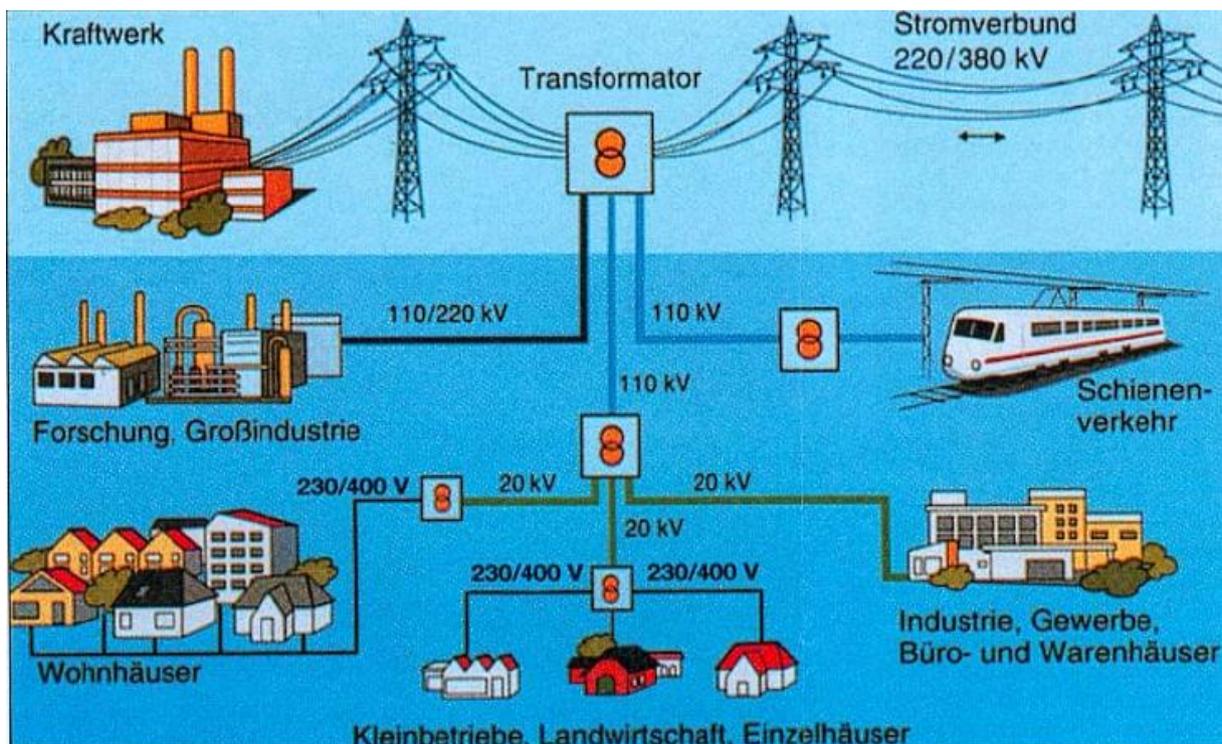


Abbildung 1.2 Verteilung elektrischer Energie [16]

## 1.2 Niederspannungsnetz

Die Versorgung der häuslichen Verbraucher (Tarifabnehmer) erfolgt mit Hilfe der Niederspannungsnetze der Nennspannungen  $U_n = 230V / 400V$ . Ausgangspunkt ist der Ortsnetztransformator, der das Niederspannungsnetz aus dem übergeordneten Mittelspannungsnetz mit der Spannung  $U_n = 20kV$  oder  $10kV$  heraus mit elektrischer Energie versorgt. Abb. 1.3 zeigt den Aufbau dieser Topologie.

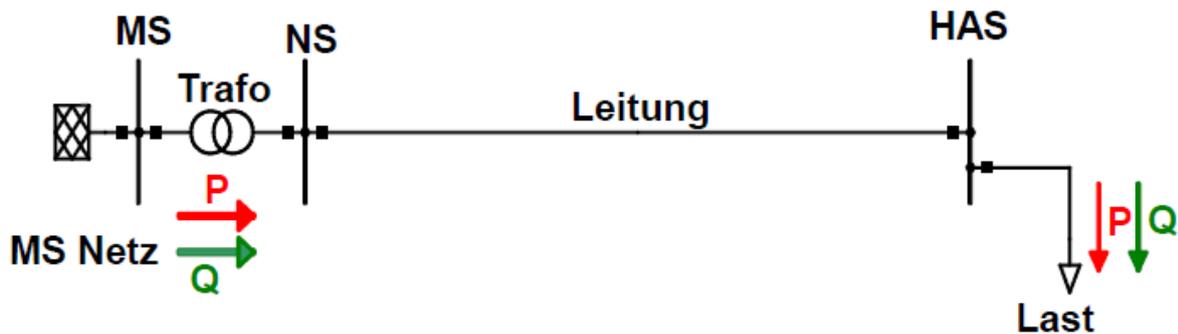


Abbildung 1.3 Netztopologie in der Niederspannungsebene [16]

In Ortsnetzen ist das Niederspannungsnetznetz als Strahlennetz, Ringnetz oder Maschennetz gegebenenfalls auch als Kombination verschiedener Topologien aufgebaut. Versorgungssicherheit, Spannungshaltung und Lastausgleich sind im Maschennetz dank der Speisung der Netzknoten von mehreren Seiten günstiger, besonders dort, wo zahlreiche Abnehmer unterschiedlicher Leistungen und mit unterschiedlichen Belastungsarten vorhanden sind. Niederspannungsnetze werden heute wegen der einfachen und übersichtlichen Betriebsweise weitgehend als Strahlennetze betrieben [3], wobei jede Ortsnetzstation ihr eigenes Versorgungsgebiet hat. An den durch Straßenkreuzungen sich ergebenden Netz-Knotenpunkten werden die Kabel in Kabelverteilerschränken so zusammengeführt, jede Strecke betriebsmäßig leicht abgetrennt werden kann und das im Störfall nur Fehlerhafte Strecken über Sicherungen abgeschaltet werden.

## 1.3 Netzform

Man unterscheidet zwischen Strahlennetzen, Ringnetzen und Maschennetzen siehe Abb. 1.4. Diese Netze können je nach landschaftlichen Gegebenheiten, Lageplänen, Versorgungssicherheit etc. ein sehr unterschiedliches Aussehen haben. Darüber hinaus besitzen alle Netze definierte betriebliche Trennstellen, mittels derer einzelne Netzteile für die Beseitigung von Störungen, Wartung und Instandhaltung spannungsfrei geschaltet werden können, was jedes Mal eine Topologie Änderung zur Folge hat.

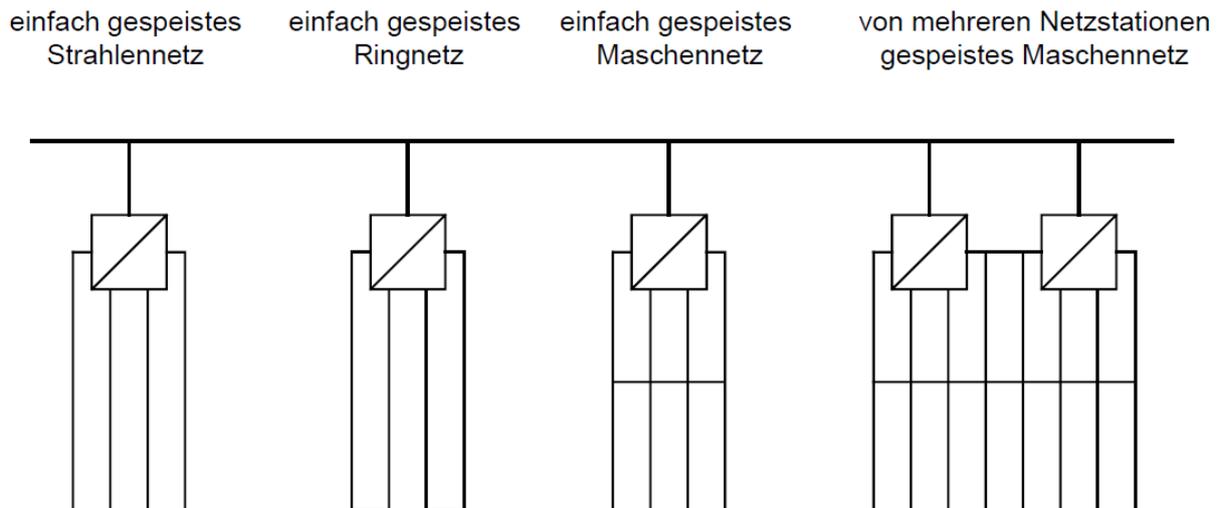


Abbildung 1.4 Schematische Netzstrukturen von mittelspannungsseitig einsträngig gespeisten Niederspannungsnetzen [7]

### 1.3.1 Strahlennetz

In Strahlennetzen verlaufen die Versorgungsleitungen strahlenförmig von der Einspeisung weg, die sogenannten Sticleitungen. Diese abgehenden Leitungen bzw. Strahlen versorgen die Häuser einer Straße in Niederspannungsnetzen der öffentlichen Versorgung.

Die Vorzüge der Strahlennetze bestehen in ihrem geringen Planungsaufwand, ihrer großen Übersichtlichkeit bei der Fehlersuche und den geringen Anforderungen an den Netzschutz. Nachteilig sind die mit zunehmendem Abstand von der Einspeisung größer werdenden Spannungsabfälle und die höheren Leistungsverluste [3].

### 1.3.2 Ringnetz

Ringnetze ermöglichen die betriebsmäßige Verbindung der Enden zweier Strahlen (Strahlennetz), die dann „Halbringe“ genannt werden. Im Kurzschlussfall wird der betroffene Halbring automatisch vom Netzschutz abgeschaltet. Alle am Halbring angeschlossenen Netznutzer sind dann zunächst ohne Strom. Nach manuellem heraustrennen des vom Kurzschluss betroffenen Leitungsstücks und Zuschalten betrieblich vorgesehener

Querverbindungen können die restlichen Verbraucher von dem jeweils ungestörten Strahl weiterversorgt werden.

Der Vorteil der Ringnetze besteht in ihrer höheren Versorgungssicherheit, bei permanent geschlossenen auch in der verbesserten Spannungshaltung sowie in geringeren Verlusten. Nachteilig ist der höhere Anspruch an die Qualifikation des Wartungspersonals.

### **1.3.3 Maschennetz**

Maschennetze weisen das bei den Ringnetzen erläuterte Prinzip der zweiseitigen Versorgung in Vollendung auf. Knoten und Zweige werden mehrfach versorgt, woraus eine große Versorgungszuverlässigkeit resultiert. Abgänge sind durch Sicherungen geschützt. Bei einem Kurzschluss bleiben die Wirkungen auf einen kleinen Bereich begrenzt.

Bei geringen Ausdehnungen wird ein Maschennetz von nur einem, möglichst zentral angeordnetem Verteiltransformator gespeist. Im Falle eines seltenen Transformator ausfalls sind dann alle Verbraucher betroffen. Aus diesem Grund wird ein Reservetransformator vorgesehen. Bei größeren Maschennetzen erfolgt die Einspeisung durch mehrere Transformatoren in die Knoten höchster Lastdichten.

Über mehrere Transformatoren gespeiste Maschennetze besitzen eine optimale Versorgungszuverlässigkeit, optimale Spannungshaltung bzw. Spannungsqualität und minimale Leistungsverluste. Nachteilig sind ihre hohen Investitionskosten, ihr hoher Projektions- und Wartungsaufwand, höchste Ansprüche an die Ausbildung des Bedienungspersonals und höhere Kurzschlussströme. Letztere lassen sich dank der hohen Spannungsqualität durch höhere Kurzschlussspannungen beherrschen.

## 2. Betriebsmittel

### 2.1 Transformator

Ein Transformator ist eine Wechselstrommaschine die durch Induktion Wechselspannung und –strom zwischen zwei oder mehr Wicklungen bei gleicher Frequenz und im Allgemeinen unterschiedlichen Werten der Spannung und des Stromes überträgt. Er ist somit ein Gerät zur Übertragung und zum Transport von elektrischer Energie. Man unterscheidet dabei Haupttransformatoren (Maschinentransformatoren) zum Transformieren der Generatorspannung auf die Überlandleitungshochspannung und Umspanntransformatoren (Verteilertransformatoren) zwischen Mittelspannungsnetz und Niederspannungsnetz (Ortsnetz).

Die Kenndaten des Transformators werden durch die Anforderungen des Netzes bestimmt. In Verteilungsnetzen wird  $u_k = 6\%$  bevorzugt [1]. Transformatorverluste setzen sich aus den Leerlauf und Kurzschlussverlusten zusammen. Die Leerlaufverluste werden durch die ständige Ummagnetisierung hervorgerufen und sind Praktisch konstant und lastunabhängig. Die Kurzschlussverluste bestehen aus den Stromwärmeverlusten in den Wicklungen und Verlusten durch Streufelder. Sie ändern sich quadratisch mit der Belastung. Öltransformatoren und Gießharz-Trockentransformatoren siehe Abb. 2.1 werden bevorzugt. Überall, wo Maßnahmen für Umweltverträglichkeit und Brandschutz ohne besondere zusätzliche Aufwendungen durchzuführen sind, ist der Öltransformator die wirtschaftlichere Variante typische Beispiele sind Ortsnetzstationen der VNB, überall wo Umweltverträglichkeit und Brandschutz besondere Maßnahmen erfordern ist häufig der GEAFOI-Transformator die beste Lösung[1].

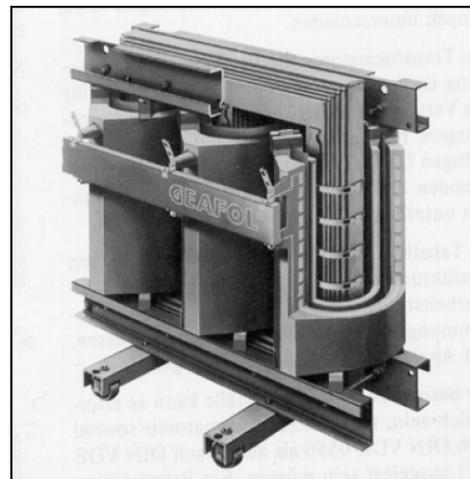
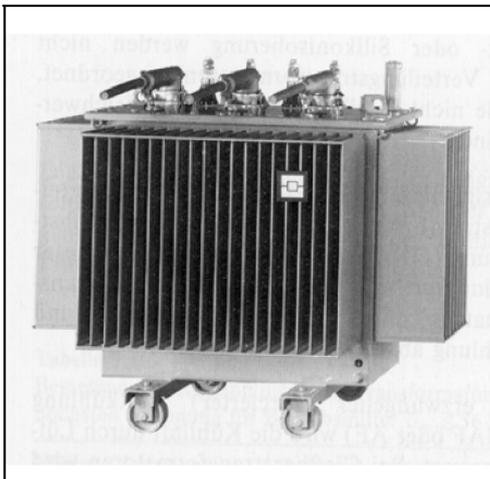


Abbildung 2.1 Links Öltransformator Rechts GEAFOI-Transformator [15]

Prinzipiell bestehen Transformatoren (hier erläutert anhand eines Transformators mit galvanischer Trennung) aus mindestens zwei Wicklungen, zwischen denen keine galvanische Verbindung besteht und die über einen Eisenkern magnetisch gekoppelt sind. Wird nun an den Klemmen der einen Wicklung eine Wechselspannung angelegt, so liegt aufgrund des Prinzips der elektromagnetischen Induktion an der anderen Wicklung ebenfalls eine Wechselspannung an. Das Verhältnis dieser beiden Spannungen entspricht dem Verhältnis der Windungszahlen der beiden Wicklungen.

## 2.2 Schaltungen und Schaltgruppen

„Bei Drehstromtransformatoren werden diejenige Wicklungsteile, die zu einem Leiteranschluss gehören, als Wicklungsstrang bezeichnet. Für die drei Wicklungsstränge, die zu ein- und demselben elektrischen Kreis (z.B. Oberspannungsseite) gehören, wird der Oberbegriff Wicklung verwendet. Die drei Wicklungsstränge einer Wicklung lassen sich auf verschiedene Weise miteinander verbinden. Je nach gewählter Verbindung erhält man ein Stern-, Dreiecks- oder Zickzackschaltung [15].“

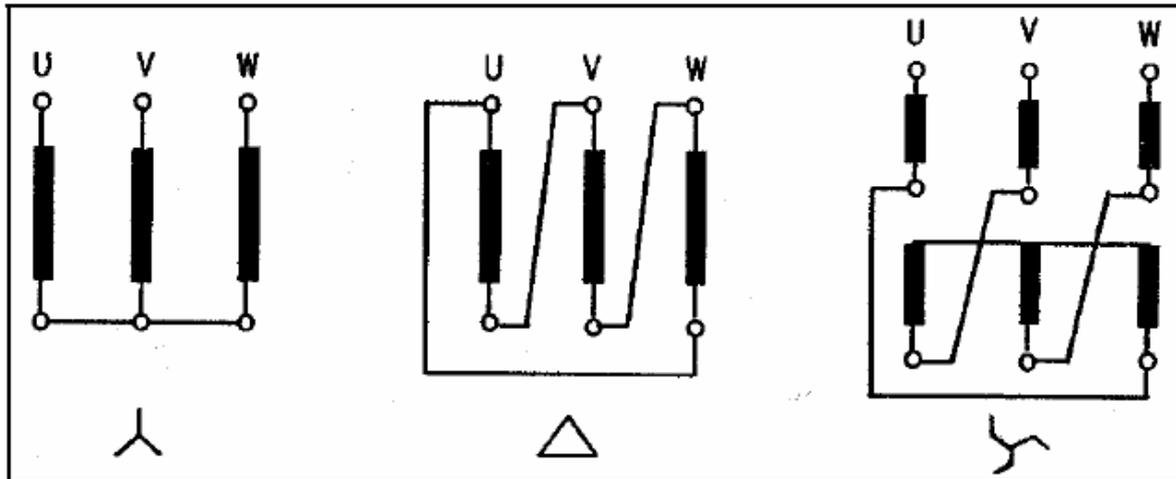


Abbildung 2.2 von links nach rechts Stern-, Dreieck- und Zickzackschaltung [15]

„Durch diese unterschiedlichen Schaltungsmöglichkeiten sind eine Reihe von Kombinationen zwischen Unter- und Oberspannungsseite denkbar. Diese werden auch *Schaltgruppen* genannt. Die Schaltgruppe siehe Abb.2.2 kennzeichnet die Schaltung zweier Wicklungen und die Phasenlage der ihnen zugeordneten Spannungszeiger. Zur Bezeichnung der Schaltgruppen werden Kurzzeichen verwendet. Diese setzen sich aus Buchstaben und Kennzahl zusammen. Dabei geben große Buchstaben die Schaltung der Oberspannungswicklung an, kleine hingegen die Schaltung der Unterspannungswicklung. Für die verschiedenen Schaltungen werden folgende Buchstaben verwendet

- Sternschaltung  $\Rightarrow$  Y, y
- Dreieckschaltung  $\Rightarrow$  D, d
- Zickzackschaltung  $\Rightarrow$  Z, z

Ist der Sternpunkt einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung zu einem Anschluss herausgeführt, so wird dies zusätzlich durch den Buchstaben N bzw. n gekennzeichnet. (z.B. YNyn6). Die Kennzahl gibt an, um welches Vielfache von  $30^\circ$  der Zeiger der Unterspannung dem Zeiger der Oberspannung mit entsprechender Klemmbezeichnung entgegen dem Uhrzeigersinn naheilt [15].“

## 2.3 Kabel / Leitungen

Die in Niederspannungsnetzen eingesetzten Leitungen können sowohl Freileitungen als auch Kabel sein. In Deutschland stellen die Kabelnetze die große Mehrheit der innerstädtischen Niederspannungsnetze dar [5]. PVC-Kabel und VPE-Kabel sind die überwiegenden Kabeltypen und werden aufgrund der üblich eingesetzten Netzsystem TN-C in Niederspannungsnetzen als Vierleiterkabel gebaut.

Innerstädtisch ist die Verlegung der Vorzugskabel NAYY mit Querschnitten von 120 mm<sup>2</sup> Al, 150 mm<sup>2</sup> Al sowie 185 mm<sup>2</sup> Al üblich, Abb.2.3 zeigt ein Beispiel. In abzweigenden Nebenleitungen für Hausanschlüsse werden Kabel mit einem Querschnitt von 50 mm<sup>2</sup> Al oft eingesetzt. Bezüglich des Anschlusses an die Hauptleitungen werden in der Regel Abzweigmuffen verwendet.

Freileitungen kommen überwiegend in ländlichen Gebieten zum Einsatz vorzugweise mit Querschnitten von 50 mm<sup>2</sup> Al, 70 mm<sup>2</sup> Al sowie 95 mm<sup>2</sup> Al üblich, wobei der Anteil der 70 mm<sup>2</sup> Al doppelt so hoch ist wie die der anderen Querschnitte [7].



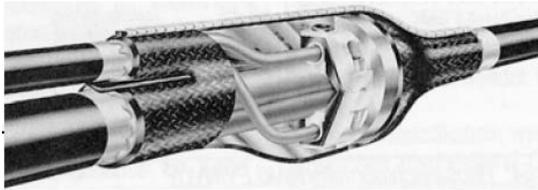
Abb 2.3 Niederspannungskabel NAYY 4x150 mm<sup>2</sup> [16]

## 2.4 Abzweigmuffe

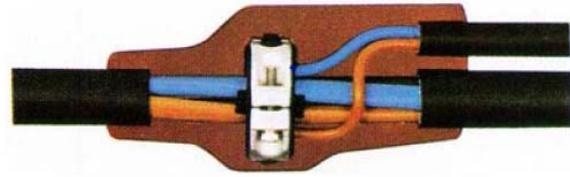
„Zur Herstellung von Abzweigen von Kabeln gleicher oder ungleicher Bauart werden Abzweigmuffen verwendet. Diese kommen in der Regel nur in Niederspannungsnetzen (zumeist als Hausanschlussmuffe), in Ausnahmefällen aber auch in Mittelspannungsnetzen bis 10 kV vor [15].“

„Der Form nach werden die Abzweigmuffen in T-Muffen und Abzweigmuffen mit Parallelabzweig (Y-Muffen) unterschieden. Die Y-Muffe benötigt weniger Platz in der Kabeltrasse und wird somit bei beengten Platzverhältnissen bevorzugt verwendet. Heute werden für Hausanschlüsse an Kunststoffkabel (dem Haupteinsatzgebiet von Abzweigmuffen) vorwiegend Gießharzmuffen mit Mehrfachklemmen verwendet. Dabei wird eine aus zwei Komponenten gemischte Gießharzmasse in eine Gießform gegossen. Der erhärtete Gießharzkörper übernimmt dann gleichzeitig den Feuchtigkeitsschutz und die Isolierung. Hausanschlussmuffen können aber auch in der sogenannten Warmschrumpftechnik ausgeführt werden. Dabei werden aufgeweitete Formteile aus vernetztem Kunststoff bei der Montage nach dem Aufschieben erwärmt und schrumpfen hierbei auf das Kabel auf [15].“

Die folgende Abbildung zeigt Ausführungsbeispiele für Abzweigmuffen.



Schrumpf-Hausanschlußmuffe



Gießharz-Hausanschlußmuffe

Abbildung 2.4 Hausanschlussmuffen [15]

## 2.5 Schaltgeräte

„Einrichtungen zum Einschalten oder Ausschalten des Stromes in einem oder mehreren Stromkreisen werden unter dem Oberbegriff Schaltgeräte zusammengefasst. Dazu zählen Sicherungen und Schalter [15].“

„Sicherungen sind Schaltgeräte, bei denen der Stromfluss durch Abschmelzen bestimmter Teile unter der Wirkung der erzeugten Stromwärme unterbrochen wird, wenn er bestimmte Grenzwerte überschreitet. Sicherungen bestehen mindestens aus Sicherungseinsätzen und Sicherungsunterteilen. Die Sicherungseinsätze müssen nach jedem Ansprechen ausgewechselt werden. Man unterscheidet in Sicherungen für Spannungen über 1 kV (Hochspannungs- Hochleistungssicherungen) und Sicherungen für Spannungen bis 1 kV (Niederspannungs- Sicherungen). Niederspannungssicherungen werden nach Bauarten und nach Funktionsmerkmalen unterschieden. Man unterscheidet zwei verschiedene Bauarten von Niederspannungssicherungen:

- Schraubsicherungen (D- bzw. D0-System)
- Sicherungen mit Messerkontakten (Niederspannungs- Hochleistungssicherungen).

Schraubsicherungen sind berührungssicher und aufgrund ihrer unterschiedlichen Passhülsen unverwechselbar gegenüber Sicherungen mit anderen Nennströmen. Sie können vom Laien bedient werden. Schraubsicherungen kommen vorwiegend in der Hausinstallation zum Einsatz. Sicherungen mit Messerkontakten (NH-Sicherungen) sind nennstrombezogen. Sie sind nicht berührungssicher und müssen deshalb vom Fachmann unter Berücksichtigung besonderer Schutzmaßnahmen (Werkzeuge) bedient werden. Ihr Haupteinsatzgebiet ist der Schutz nachgeschalteter Leitungen und Anlagen in Niederspannungsnetzen [15].“

„Niederspannungssicherungen werden nach ihren Funktionsmerkmalen in sogenannte Betriebsklassen eingeteilt. Die Kennzeichnung der Betriebsklasse besteht aus zwei Buchstaben. Der erste Buchstabe gibt die Funktionsklasse des Sicherungseinsatzes und somit den Strombereich an, den dieser ausschalten kann [15].“ Man unterscheidet:

**Funktionsklasse g:** Diese Sicherungen gewährleisten Kurzschluss- und Überlastschutz (Ganzbereichssicherungen).

**Funktionsklasse a:** Diese Sicherungen dienen allein dem Kurzschlussschutz und können das Abschalten von Überlastströmen nicht übernehmen (Teilbereichssicherungen).

Der zweite Buchstabe kennzeichnet das Schutzobjekt. Dabei bedeutet:

L ⇒ Kabel- und Leitungsschutz

M ⇒ Schaltgeräteschutz

R ⇒ Halbleiterschutz

B ⇒ Bergbauanlagenschutz

Tr ⇒ Transformatorenschutz

„Schalter sind Schaltgeräte zum mehrmaligen Einschalten und Ausschalten von Strompfaden, bei denen die beweglichen Schaltstücke durch Bauelemente des Gerätes mechanisch geführt sind und daher beim Schalten stets denselben vorbestimmten Weg zurücklegen. Entsprechend ihrer unterschiedlichen Aufgaben im Netz unterscheidet man die Schalter in:

- Leistungsschalter
- Lasttrennschalter (Lastschalter)
- Trennschalter

*Leistungsschalter* sind Schalter, die beim Ein- und Ausschalten von Betriebsmitteln und Anlagenteilen im ungestörten und gestörten Zustand, insbesondere bei Kurzschlüssen, die auftretenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen bewältigen. Sie müssen in der Lage sein, die im ungünstigsten Fall auftretenden Kurzschlussströme sicher abzuschalten. Das Schaltvermögen im Kurzschlussfall wird durch den Nenn- Kurzschlussausschaltstrom bezeichnet. Dieser muss auf dem Leistungsschild des Schalters angegeben sein [15].“

„*Lasttrennschalter* sind Schalter mit einem Ausschaltvermögen, das beim Ein- und Ausschalten von Betriebsmitteln im ungestörten Zustand den auftretenden Beanspruchungen entspricht. Lasttrennschalter dienen in Mittelspannungsschaltanlagen zum Schalten von Betriebsströmen. Sie sind jedoch nicht geeignet, einen Kurzschluss abzuschalten. Für diesen Fall sind sie mit angebauten Sicherungen auszurüsten, welche das Abschalten des Kurzschlussstromes übernehmen [15].“

„*Trennschalter* stellen beim Ausschalten eine Trennstrecke her und dienen zum annähernd stromlosen Schalten oder zum Schalten von Strömen, sofern dabei zwischen den Schaltstücken keine wesentliche Spannungsdifferenz auftritt. Hauptsächlich werden sie zum Herstellen vorgeschriebener Trennstrecken beim Freischalten von Anlagenteilen und zur Vorbereitung verschiedener Betriebschaltungen bei Mehrfach-Sammelschienen verwendet [15].“

## 2.6 Hausanschlüsse

„Der Hausanschluss ist die Verbindungsstelle zwischen dem Niederspannungsverteilungsnetz und der Kundenanlage des Anschlussnehmers. Er besteht aus dem Hausanschlusskasten und einer zugehörigen Anschlussleitung, die fast immer als Stichleitung ausgeführt ist. Der Hausanschlusskasten ist das letzte Glied im Verteilungsnetz, ab hier beginnt die Anlage des Abnehmers. Je nach Art des Niederspannungsverteilungsnetzes unterscheidet man Kabel- und Freileitungshausanschlüsse. Diese können wiederum in unterschiedlicher Weise ausgeführt werden [15].“

„Der Hausanschlusskasten siehe Abb.2.5 schließt das Ende des Hausanschlusskabels ab. Er enthält die Hausanschlusssicherungen und die Klemmen oder Schrauben für den Anschluss der Abnehmerleitung, an die der Zähler (gehört schon zur Kundenanlage) angeschlossen ist. Hausanschlusskästen werden heute fast ausschließlich aus Kunststoff hergestellt. Man unterscheidet folgende Bauformen:

- Kastenbauform zur Anbringung in Innenräumen,
- Schrankbauform zum Aufstellen im Freien (Hausanschlusssäulen),
- Wandeinbauschränke.

Hausanschlusskästen werden für D-Sicherungen bis 63 A und für NH-Sicherungen gebaut. Vorwiegend werden Hausanschlusskästen für NH-Sicherungen bis 100 A eingesetzt [15].“



Abbildung 2.5 Hausanschlusskasten [15]

## 2.7 Beanspruchbarkeit der Betriebsmittel

„Betrachtet man die Beanspruchbarkeit der Betriebsmittel, so muss zunächst die Beanspruchung (Belastung) im Normalbetrieb von der im Betrieb nach Störungen unterschieden werden. Tritt eine Störung zufällig am Spitzenlasttag zur Spitzenlastzeit auf, und wird das Betriebsmittel zur teilweisen oder vollständigen Deckung der Belastung des ausgefallenen herangezogen, so wird es für relativ kurze Zeit hoch belastet. Nimmt man einen geringen Lebensdauer-Mehrverzehr in Kauf, kann auch über die Grenzen der DIN – VDE – Bestimmung 0298 und 0536 Hinausgegangen werden. In Anbetracht der geringen Wahrscheinlichkeit der vorher beschriebenen Störung ist das Risiko eines vorzeitigen Endes der Nutzung klein [2].“

Betriebsmittel	Isolation	Im Normalbetrieb	Im Störungsbetrieb
Transformator Msp/Nsp	Öl	130%	175%
Transformator Msp/Nsp	Gießharz	100%	110%
Niederspannungskabel	Papier	60%	120%
Niederspannungskabel	VPE	60%	120%
Niederspannungskabel	PVC	60%	100%

Abbildung 2.6 Beanspruchbarkeit der Betriebsmittel

## 3. Lasten

### 3.1 Gleichzeitigkeitsfaktor

„Der Gleichzeitigkeitsfaktor oder auch Bedarfsfaktor  $g_i$  ist immer bezogen auf die Einspeisung des direkt vorgeordneten Verteilers (Unterverteiler bei größeren Gebäuden mit Haupt- und Unterverteilern oder Gebäude-Hauptverteiler bei kleineren Wohn- und Gewerbegebäuden) und immer  $\leq 1$ . Er berücksichtigt die Tatsache, dass nicht alle Verbraucher gleichzeitig eingeschaltet sind oder mit voller Leistung betrieben werden [1]“.

### 3.2 Schätzung der Maximallast

„Genauere Kenntnisse über die lokal verbrauchte Leistung sind für die Ermittlung der Netzspannung und der Belastung der Betriebsmittel im Allgemeinen unabdingbar. Die Maximallast bzw. Spitzenlast muss zur Auslegung der Betriebsmittel beim Anschluss von Haushaltsverbrauchern abgeschätzt werden. Dies erfolgt typischerweise mithilfe des Gleichzeitigkeitsgrades  $g$ . Dieser ist definiert als durchschnittlicher, im Rahmen einer Gruppenkalkulation ermittelter Anteil der Höchstlast einer Einzelentnahme an der Höchstlast eines Netzes. Dabei wird typischerweise von vollelektrifizierten Haushalten (ohne Elektroheizung) mit einer Spitzenlast  $p_s = 30$  kW und einem Gleichzeitigkeitsgrad  $g^\infty = 0,06 \dots 0,07$  ausgegangen [6]. Abhängig von der Anzahl der Haushalte, die über ein Betriebsmittel versorgt werden, ergibt sich eine Spitzenleistung  $p_s$  nach Gleichung 3. Das Ergebnis für vollelektrifizierte Haushalte ist bis 150 Haushalte in Abbildung 3.1 dargestellt [14]“.

Gleichung 3: 
$$p_s(n) = g^\infty \left[ \frac{1 - g^\infty}{n^{0,75}} \right]$$

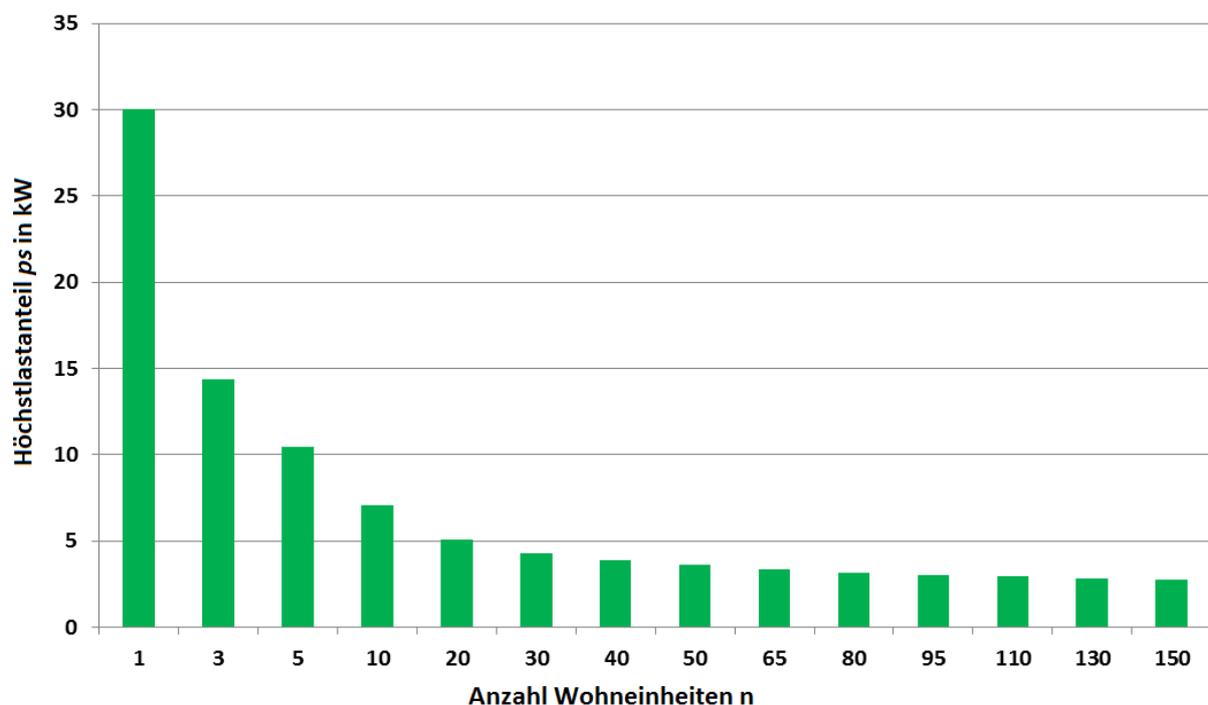


Abbildung 3.1 Höchstlasteinteildiagramm für bis zu 150 Haushalte [14]

### 3.3 Lastprofile

„Das Verbraucherverhalten kann durch Standardlastprofile abgeschätzt werden. Hierbei kommen üblicherweise die VDEW-Standardlastprofile zum Einsatz. Diese Profile basieren auf einer Datenerhebung des VDEW mit verschiedenen deutschen Energieversorgern Mitte der 1980er Jahre [10]. Das Lastverhalten einer großen Zahl repräsentativer Verbraucher wurde in 15-Minuten-Mittelwerten aufgezeichnet und ausgewertet. Als Ergebnis erhielt man mittlere Ganglinien für Werkstage, Samstage sowie Sonn- und Feiertage jeweils für Sommer, Winter und Übergangszeit. Diese Profile gibt es für unterschiedliche Verbrauchertypen, wie Haushalte, Landwirtschaften und verschiedene Gewerbebetriebe. Abbildung XXX zeigt drei Lastgänge für einen Haushalt nach dem VDEW-Standardlastprofil H0 für die Winterzeit. Die Profile sind dabei so skaliert, dass sie einem Jahresverbrauch von 1.000 kWh pro Jahr des Haushalts entsprechen. Die Maximallast tritt Werkstags gegen 18:30 Uhr auf. Des weiteren findet sich ebenfalls sonntags eine ausgeprägte Mittagsspitze [14]“.

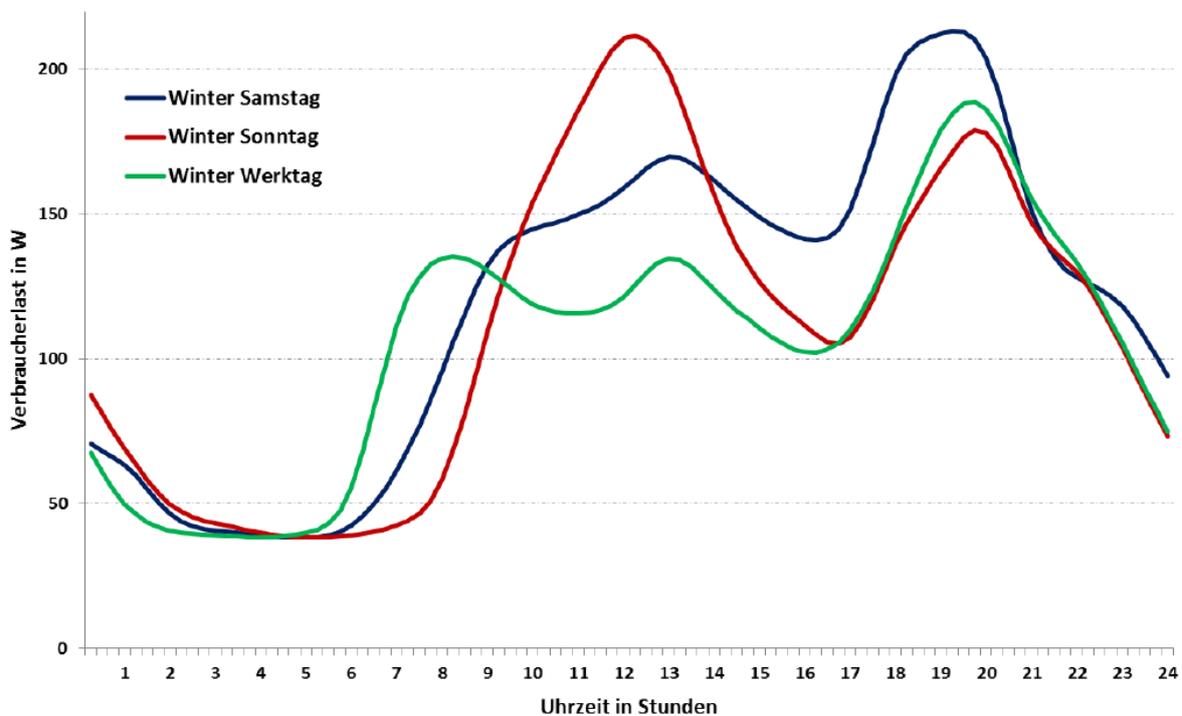


Abbildung 3.2 Standardlastprofil H0 für Haushalte im Winter [14]

## 4. Siedlungsstruktur

Die Siedlungsstruktur beschreibt bauliche und nutzungsbezogene Eigenschaften besiedelter Flächen. Diese können je nach Zielsetzung und Eigenschaften in verschiedene Siedlungstypen unterteilt werden. Jeder Siedlungstyp hat einen historischen Entstehungszeitraum, der in den Größen der Gebäude, der Art der verkehrlichen Erschließung und dem Anteil und der Anordnung öffentlicher und privater Freiflächen die Bedürfnisse zum Zeitpunkt der Anlage widerspiegelt. Das Erschließungsnetz (Straßennetz) von Siedlungsgebieten wird in der Regel mit der Besiedlung festgelegt[7]. Für die Neubebauung von Flächen (Neubaugebiete) werden Kenngrößen der Gebäude und Siedlungsräume gesetzlich durch das Baugesetzbuch (BauGB) festgelegt. Die Anbindung von Gebäuden an das Niederspannungsnetz erfolgt aus dem öffentlichen Verkehrsraum in den meisten Fällen von der Erschließungsstraße über eine Hausanschlussleitung. Erdverlegte Leitungen werden nach DIN 1998 in dem Grundstück zugewandten Bereich der Gehwegs verlegt[8,7]. Eine Unterteilung der Siedlungsstrukturen in Siedlungstypen ist wie folgt:

- Siedlungstyp A Wohnplätze und Streusiedlungen
- Siedlungstyp B Dörfer mit überwiegend Gehöften
- Siedlungstyp C Ein- Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte
- Siedlungstyp D Zweifamilienhaussiedlung hoher Dichte mit Dorfkern
- Siedlungstyp E Reihenhausbebauung
- Siedlungstyp F Zeilenbebauung mittlerer Dichte
- Siedlungstyp G Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser
- Siedlungstyp H Blockbebauung
- Siedlungstyp I Mittelalterliche Altstadt

## 4.1 Siedlungstyp A Wohnplätze und Streusiedlungen

„Wohnplätze und Streusiedlungen liegen im ländlichen Bereich ihre Entstehung geht auf mittelalterliche Ursprünge zurück. Im 10. und 11. Jahrhundert entstanden vorwiegend kleine Haufendörfer und Einzelhöfe. Es ist ein direkter Bezug zwischen der Wohnbebauung und der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu erkennen. Nach Ausgang des Mittelalters wurden bis zur Anlage von Neubauernsiedlungen kaum neue ländliche Siedlungsstrukturen geschaffen [7].“ Diese Netzbezirke werden überwiegend mit Freileitungen an das Netz angebunden die Erschließung erfolgt als Strahlennetz mit einseitiger Straßenbelegung. Die Anordnung der Gebäude ist einzeln oder in kleinen Gruppen vorzufinden genutzt werden sie als Wohngebäude mit landwirtschaftlichem Gewerbe[7].



Abbildung 4.1 Siedlungstyp A [16]

## 4.2 Siedlungstyp B Dörfer mit überwiegend Gehöften

Dörfer mit überwiegend Gehöften gehören ebenso zu den ländlichen Siedlungsstrukturen und werden meist als Strahlennetz mit einseitiger Straßenbelegung aufgebaut und versorgt. Entlang der Hauptverkehrswege verläuft eine Hauptleitung, in abzweigenden Seitenstraßen gelegene Netznutzer werden über Nebenleitungen versorgt. Je nach Sanierungszustand gibt es eine hohe Diversität des Leitungsmaterials. Die Gebäude sind am Straßennetz ausgerichtet und werden als Wohngebäude und für vorwiegend landwirtschaftliches Gewerbe genutzt.



Abbildung 4.2 Siedlungstyp B [17]

### 4.3 Siedlungstyp C Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte

Ein- und Zweifamilienhaussiedlungen niedriger Dichte liegen größtenteils in Vorstadtgebieten vor. Diese Netzbezirke sind bis auf wenige Ausnahmen verkabelt ( in der Erde verlegt ) Leitungsmaterial ist je nach Errichtungs- bzw. Sanierungszustand einheitlich. Die Erschließung des Netzbezirks erfolgt rasterförmig mit einseitiger Straßenbelegung. Es liegt eine vorwiegend parallele Anordnung der Gebäude bei gleicher Bauform vor.



Abbildung 4.3 Siedlungstyp C [17]

## 4.4 Siedlungstyp D Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte und Dorfkern

Einfamilienhaussiedlungen hoher Dichte mit Dorfkern sind im städtischen Randbereich und in ländlichen Bereich vorzufinden. Diese Netzbezirke sind mit einheitlichem Leitungsmaterial des Errichtungszustandes verkabelt. Die Erschließung erfolgt als kleinmaschig, überwiegend rasterförmig mit einseitiger Straßenbelegung. Die Gebäude werden für Wohnzwecke genutzt mit vereinzelt stillem Gewerbe wie auf dem Bild zu erkennen sind die Gebäude individuell in ihrer Bauform.



Abbildung 4.4 Siedlungstyp D [16]

## 4.5 Siedlungstyp E Reihenhaussiedlung

Reihenhaussiedlungen sind in Vorstadtbereichen vorzufinden. Diese Netzbezirke sind mit einheitlichem Leitungsmaterial des Errichtungs- bzw. Sanierungszustandes verkabelt. Die Erschließung erfolgt als kleinmaschig, überwiegend rasterförmig mit einseitiger Straßenbelegung. Die Gebäude werden ausschließlich für Wohnzwecke genutzt. Die Häuserzeilen sind parallel angeordnet.



Abbildung 4.5 Siedlungstyp E [16]

## 4.6 Siedlungstyp F Zeilenbebauung mittlerer Dichte

Zeilenbebauung mittlerer Dichte kommen im Vorstadtbereich vor. Diese Netzbezirke sind überwiegend mit einheitlichem Leitungsmaterial des Errichtungszustandes verkabelt. Die Erschließung erfolgt über Stiche und Schleifen. Die Gebäude werden ausschließlich für Wohnzwecke genutzt. Die Gebäude sind parallel angeordnet.



Abbildung 4.6 Siedlungstyp F [16]

## 4.7 Siedlungstyp G Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser

Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser kommen am Rand von Groß- und Kleinstädten und oft in neuen Stadtzentren vor. Die Erschließung erfolgt über Stiche und Schleifen. Die Gebäude werden ausschließlich für Wohnzwecke genutzt. Die Gebäude sind parallel angeordnet.



Abbildung 4.7 Siedlungstyp G [17]

## 4.8 Siedlungstyp H Blockbebauung

Blockbauungen liegen vorwiegend in großstädtischen Innenstadtbereich angrenzend an den Stadtkern. Netzbezirke sind verkabelt wobei eine hohe Diversität des Leitungsmaterials vorliegt. Die Erschließung erfolgt rasterförmig mit zweiseitiger Straßenbelegung. Die Gebäude werden zu Wohnzwecke und als Büros genutzt teilweise sind Ladengeschäfte enthalten.



Abbildung 4.8 Siedlungstyp H [17]

## 4.9 Siedlungstyp I Mittelalterliche Altstadt

Wie der Name Altstadt schon vermittelt liegt sie im städtischen Kerngebiet. Netzbezirke sind verkabelt wobei eine hohe Diversität des Leitungsmaterials vorliegt. Die Erschließung erfolgt rasterförmig oft schiefwinklig mit zweiseitiger Straßenbelegung. Die Gebäude werden für Wohnzwecke, Büros und als Ladengeschäfte genutzt. Es liegt eine sehr Dichte verwinkelte Anordnung der Gebäude vor.



Abbildung 4.9 Siedlungstyp I [16]

## 5. Parameter zur Modellierung von Niederspannungsnetzen

### 5.1 Stationstransformator

Bei der Auswahl des Stationstransformator wird die Nennleistung durch die Höchstlast des zu versorgenden Netzbezirks bestimmt. In Abhängigkeit von der Anzahl der versorgten Wohneinheiten und dem Versorgungsgrad wird auf Grund von Erfahrungswerten ein je Wohneinheit zu berücksichtigender Höchstlastanteil festgelegt [6]. Ein Anstieg der Lastanforderung kann durch Erhöhung der Nennleistung des Stationstransformators oder durch Netzauftrennung und anlegen neuer Netzbezirke kompensiert werden. Abbildung 5.1 zeigt für die zur Versorgung der verschiedenen Siedlungstypen eingesetzten Stationstransformatoren typische Nennleistungen und deren Hauptwerte.

Nennleistung des Stations- transformators / kVA	630		630	<b>630</b>	<u>Siedlungstypen</u> A Wohnplätze und Streusiedlungen B Dörfer mit überwiegend Gehöften C Siedlung niedriger Dichte D Siedlung hoher Dichte E Reihenhausbauung F Zeilenbauung mittlerer Dichte G Zeilenbauung hoher Dichte H Blockbauung I Mittelalterliche Altstadt						
	400		<b>400</b>	<b>400</b>	400			<b>400</b>	400		
	250	250	<b>250</b>	250							
	160	<b>160</b>	160								
	100	100									
	50	50									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
		Siedlungstyp									

Abbildung 5.1 Typische Nennleistungen von Stationstransformatoren und deren Hauptwerte (fett Gedruckt) nach Siedlungstypen aufgeteilt[7]

In Siedlungen mit geringer Dichte der Wohnbauung und bei geringer Größe der versorgten Siedlungszellen kommen Transformatoren mit unterschiedlichen Nennleistungen zum Einsatz (Siedlungstypen A,B,C). Bei Siedlungsgebieten mit hoher Dichte der Wohnbauung wird die maximale Stationsgröße erreicht und im Fall der Erhöhung der Lastanforderung durch Netzauftrennung und anlegen neuer Netzbezirke angepasst [7].

## 5.2 Anzahl der Leitungsabgänge von der Netzstation

Die vom Stationstransformator abgehenden Leitungen versorgen die Netzbezirke mit elektrischer Energie. Aufgrund der Standardisierung von Transformatoren und Leitungen weist die Abbildung 5.2 dargestellte Anzahl der Abgänge je Transformator für städtische Versorgungsgebiete nur geringe Unterschiede auf. Abgebildet sind Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung.

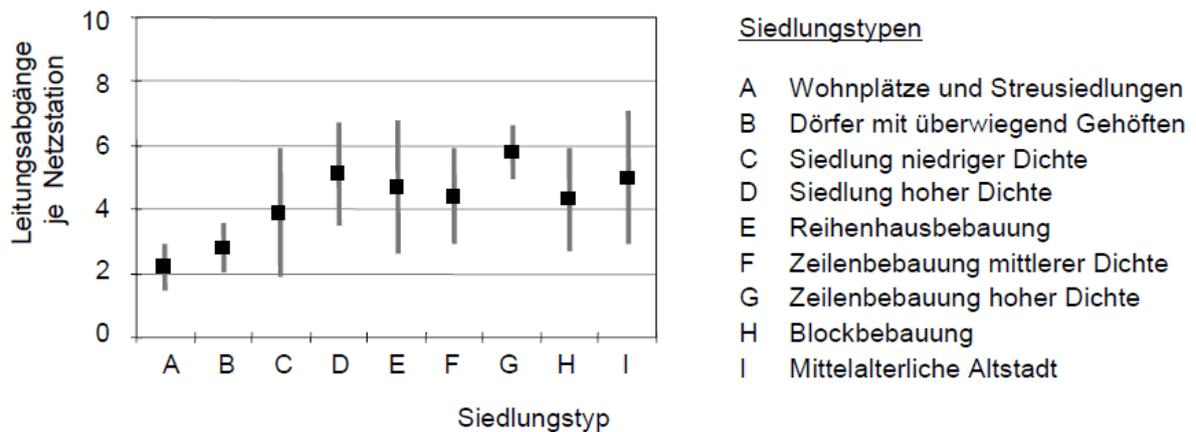


Abbildung 5.2 Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung der Anzahl der Leitungsabgänge von Netzstationen [7]

Siedlungsstrukturen mit geringer Dichte der Wohnbebauung haben wie vorher beschrieben Netzstationen mit geringerer Leistung des Stationstransformators weshalb hier die Anzahl der Abgänge auch geringer ausfällt. Einzelne Abnehmer wie Straßenbeleuchtung und Ampeln werden über Direktanschluss von der Netzstation versorgt und hier nicht berücksichtigt [7].

### 5.3 Länge der Netzstrahlen und Netzstrahlabschnitte

Die Länge der Netzstrahlen in einem Netzbezirk werden durch die maximal zulässige Belastung des eingesetzten Leitermaterials und das Einhalten der Abschaltbedingungen nach DIN VDE 0100-430 begrenzt. Abbildung 5.3 zeigt die Längen der Netzstrahlen für ausgewählte Siedlungstypen [7].

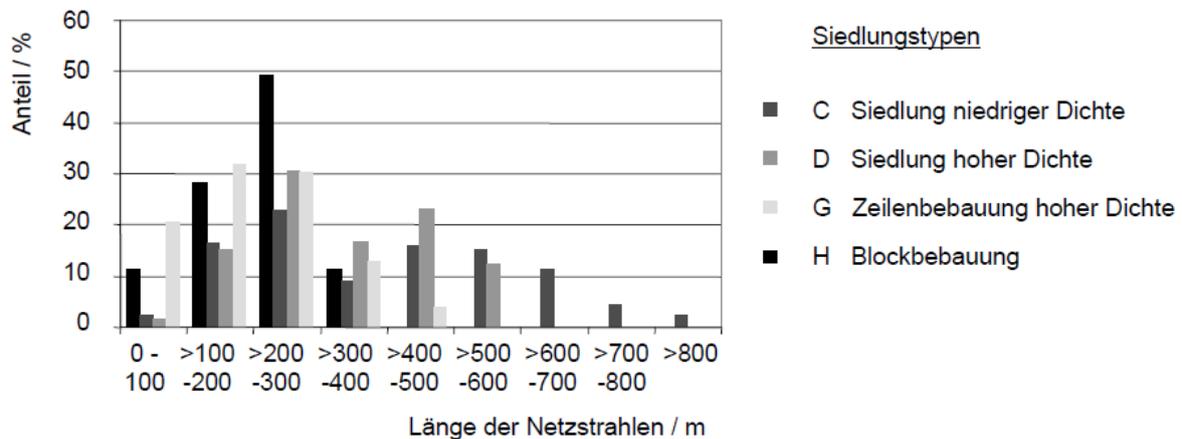


Abbildung 5.3 Länge der Netzstrahlen für ausgewählte Siedlungstypen[7]

Die größten Einzelanteile der Netzstrahlen für die Siedlungstypen C (Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte) mit ca. 23%, D (Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte) mit ca. 30% und H (Blockbebauung) mit ca. 49% liegen bei einer Länge zwischen 200m und 300m. Siedlungstyp G (Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser) hat mit ca.30% den größten Einzelanteil bei 100m bis 200m. Bei rasterförmig erschlossenen Siedlungstypen kommt es auch zur Bildung von Netzstrahlabschnitten deren Längen in Abbildung 5.4 zu sehen sind z.B. zur Anbindung von Kabelverteilerschränken an Netzstationen oder zur Kreuzung von Verkehrsflächen.

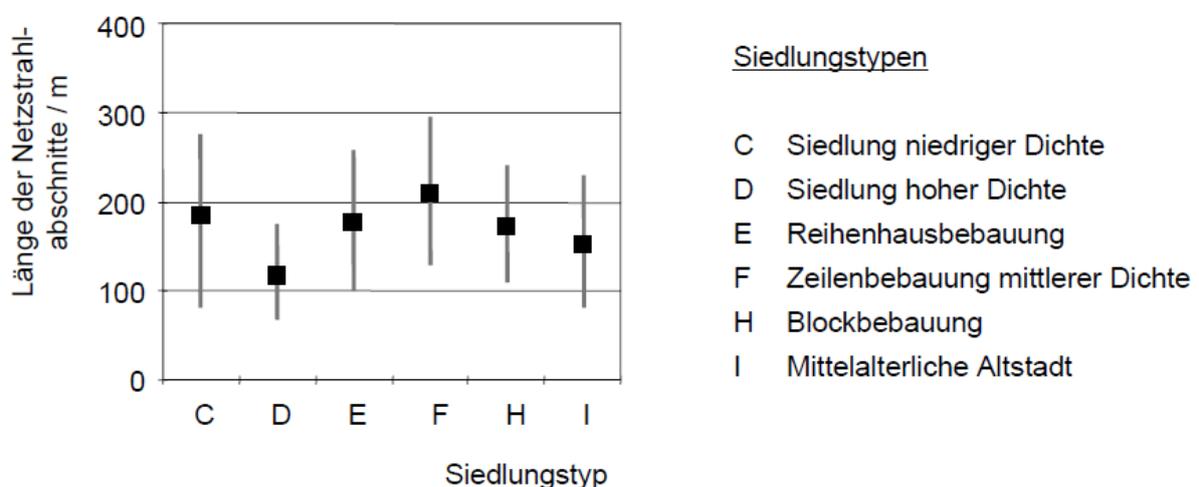


Abbildung 5.4 Länge der Netzstrahlabschnitte für rasterförmig erschlossene Siedlungstypen Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung[7]

## 5.4 Abstand benachbarter Hausanschlüsse

Entlang eines Netzstrahles zweigen Hausanschlussleitungen ab, die über den Hausanschlusskasten die Netznutzer anbinden. Der Abstand benachbarter Hausanschlüsse spiegelt die Dichte der Knotenpunkte wieder und entspricht etwa der Breite der Häuserfront. Die Länge der Hausanschlussleitungen ist abhängig vom Abstand der Gebäudefront zum öffentlichen Verkehrsraum und bei einseitiger Straßenbelegung durch die Breite der Straße. Sie beträgt bei als Strahlen- oder Maschennetz aufgebauten Netzbezirken zwischen 3m und 12m in Ausnahmefällen bis 25m [7]. In Abbildung 5.5 sind für verschiedene Siedlungstypen die mittleren Abstände dargestellt. Siedlungstyp G (Zeilenbebauung hoher Dichte mit Hochhäusern) ist nicht enthalten da dieser direkt an den Netzstahl angeschlossen wird.

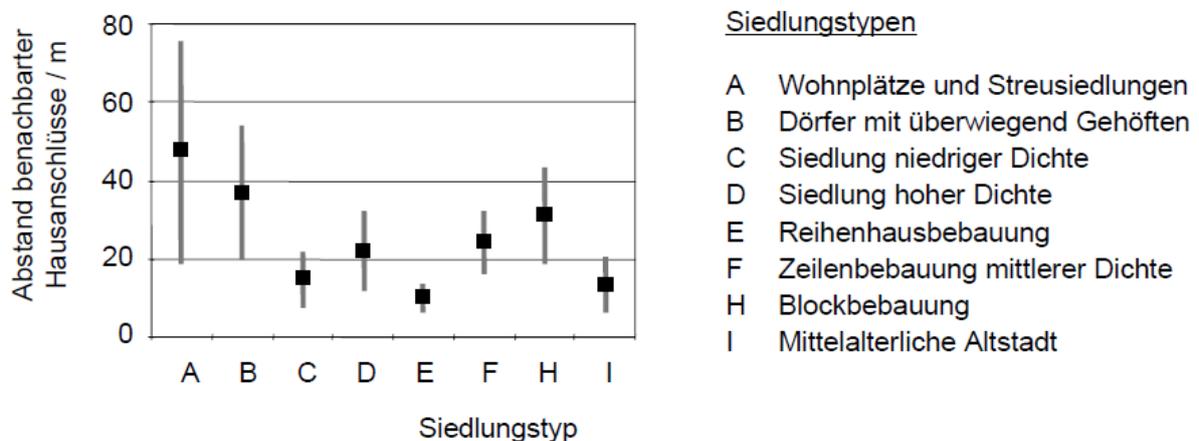


Abbildung 5.5 Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung des Abstandes benachbarter Abzweige von Hausanschlussleitungen[7]

Für die Siedlungstypen A (Wohnplätze und Streusiedlungen) und B (Dörfer mit überwiegend Gehöften) wurde aufgrund der niedrigen Besiedelung ein hoher Wert ermittelt. Für Siedlungstyp C (Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte) fällt der Wert niedriger aus als für Siedlungstyp D (Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte und Dorfkern) dies ist zurückzuführen auf die große Tiefe der Grundstücke für Siedlungstyp C woraus eine geringere Dichte der Bebauung resultiert. Für die Siedlungstyp E (Reihenhausbauung) und die in der Regel schmalen Gebäude des Siedlungstyp I (Mittelalterliche Altstadt) ergeben sich kleine Werte. Der Abstand benachbarter Abzweige von Hausanschlussleitungen ist unabhängig von der Länge des Netzstrahls bzw. Strahlabschnittes [7].

## 5.5 Wohneinheiten je Hausanschluss

Die Anzahl an Wohneinheiten je Hausanschluss ist in Abbildung 5.5 dargestellt. Je nach Siedlungstyp variieren die Werte für Wohneinheiten je Hausanschluss.

Siedlungstyp	Netzaufbau	Wohneinheiten je Hausanschluss Spannweiten / Durchschnitt
A Wohnplätze und Streusiedlungen	Strahlennetz	1-2 / 1,3
B Dörfer mit überwiegend Gehöften	Strahlennetz	1-6 / 1,8
C Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte	Strahlennetz, Maschennetz	1-6 / 1,6
D Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte und Dorfkern	Maschennetz	1-6 / 1,4
E Reihenhausbauung	Maschennetz	1-4 / 1,2
F Zeilenbauung mittlerer Dichte	Maschennetz, Anschlussnetz	6-60 / 8,5
G Zeilenbauung hoher Dichte und Hochhäuser	Anschlussnetz	20-80 / 41
H Blockbauung	Maschennetz	6-15 / 9,2
I Mittelalterliche Altstadt	Maschennetz	2-12 / 5,7

Abbildung 5.6 Wohneinheiten je Hausanschluss[7]

## 6. Modellierung von Niederspannungsnetzbezirken

Die Struktur von Netzbezirken nehmen in der Praxis eine sehr große Vielfalt ein. Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt das auf Grundlage der in Kapitel 5 beschriebenen Zusammenhänge ein Modellieren von Netzbezirken ermöglicht. Folgende Randbedingungen müssen beim Modellieren berücksichtigt werden.

- Einhalten der zulässigen Belastung der Betriebsmittel
- Gewährleistung des Abschaltkriteriums für TN-C Netze
- Einhaltung der zulässigen Höhe der Versorgungsspannung

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der von der Netzstation abgehenden Netzstrahlen von örtlichen Gegebenheiten abhängig ist.

Benötigte Gleichungen zum Modellieren der Referenznetze:

Zur Bestimmung der Absicherung in der Netzstation:

Gleichung 6.1 [7] 
$$I_s \approx 0.9 * I_n$$

Zur Bestimmung der maximalen Leitungslänge:

Gleichung 6.2 [13] 
$$l_{max} = \frac{0,06 * U_n * A}{2 * I_s * \rho}$$

Zum ermitteln der maximal übertragbaren Leistung eines Netzstrahls:

Gleichung 6.3 [7] 
$$P_{max} = \sqrt{3} * U_n * \cos\varphi * I_s$$

Zur Bestimmung der maximal möglichen Anzahl Wohneinheiten in einem Netzstrahl:

Gleichung 6.4 [7] 
$$W_{Emax} = \frac{P_{max}}{p_s}$$

Vorgehensweise: In Abhängigkeit vom Leitungsmaterial wird zunächst mit Gleichung 6.1 die Absicherung in der Netzstation berechnet, im nächsten Schritt die max. Leitungslänge mit Gleichung 6.2. Anhand des mittleren Hausabstand wird dann die mögliche Anzahl Hausanschlüsse ermittelt. Dann wird mit dem Wert für die durchschnittlichen Wohneinheiten je Hausanschluss die Anzahl Wohneinheiten im Netzstrahl errechnet. Nun kann mit Gleichung 3 der Höchstlastanteil berechnet werden. Es muss nun verglichen werden ob die übertragbare Leistung des Leitungsmaterials Gleichung 6.3 in der Lage ist diese Anzahl Wohneinheiten zu versorgen Gleichung 6.4. Der Wert Wohneinheiten muss kleiner Gleich Wohneinheiten maximal sein. Mit der mittleren Anzahl Abgänge je Netzstation kann nun die gesamt Anzahl Wohneinheiten im Netzbezirk ermittelt werden und kontrolliert werden ob der Stationstransformator in der Lage ist diese zu versorgen. Der Netzstrahl muss je nach Siedlungstyp gegebenenfalls in Netzstrahlabschnitte unterteilt werden.

## 6.1 Modellierung eines Netzbezirks für den Siedlungstyp A

Es soll nun ein Referenznetz für den Siedlungstyp A (Wohnplätze und Streusiedlungen) modelliert werden. Die Gebäudeanordnung beim Siedlungstyp A kommt einzeln oder in kleinen Gruppen vor. Nach der Tabelle in Abbildung 5.2 beträgt die mittlere Anzahl an Leitungsabgängen von der Netzstation zwei daher gehen wir von der Annahme aus das Zwei einzelne landwirtschaftliche Betriebe von der Netzstation versorgt werden. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten beim Siedlungstyp A sind diese Netznutzer weit voneinander entfernt was auch die geringe Anzahl an Leitungsabgängen erklärt. Netzbezirke in ländlichen Gebieten werden meist über Freileitungen versorgt, das eingesetzte Leitungsmaterial ist Overhaedline 4x 90mm<sup>2</sup> Aluminium mit einem Bemessungsstrom von  $I_n = 340\text{A}$ . Die Absicherung in der Netzstation beträgt nach Gleichung 6.1  $I_s = 300\text{ A}$  das ergibt nach DIN IEC 60038 (VDE 0175) welches sich nach Gleichung 6.2 berechnen lässt eine maximale Leitungslänge von 518 m. Somit dürfen die Netznutzer nicht weiter als 518 m von der Netzstation entfernt sein.

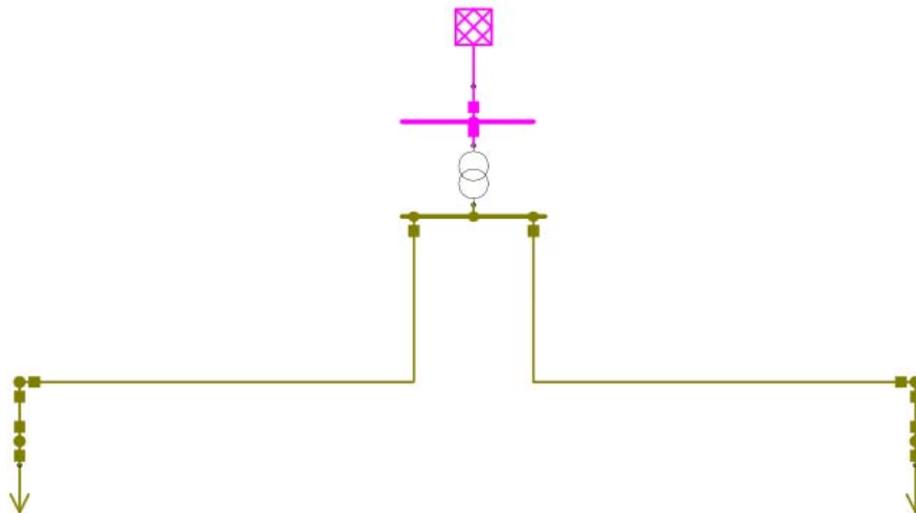


Abbildung 6.1 modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp A

Stationstransformator	Leitungen u. Länge	Hausanschlussleitung und Länge	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 160\text{ kVA}$	Overhaedline 4x 90mm <sup>2</sup> Al; 400m	Overhaedline 4x 25mm <sup>2</sup> Al; 30m	1,3	30kW

Tabelle 6.1 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet A

## 6.2 Modellierung eines Netzbezirks für den Siedlungstyp B

Siedlungstyp B (Dörfer mit überwiegend Gehöften) werden wie auch Siedlungstyp A überwiegend über isolierte Freileitungen versorgt. Das eingesetzte Leitungsmaterial Overheadline  $4 \times 70 \text{ mm}^2$  Aluminium mit dem Bemessungsstrom  $I_n = 270 \text{ A}$ . Die Absicherung in der Netzstation beträgt nach Gleichung 6.1  $I_s = 240 \text{ A}$  das ergibt nach Gleich 6.2 eine maximale Leitungslänge von 504 m. Mit einem mittleren Hausabstand, nach der Tabelle in Abbildung 5.5, von 40 m können 12 Netzknoten zum Anbinden von Hausanschlüssen entlang eines Netzstrahls untergebracht werden. Bei einseitiger Straßenbelegung können somit 24 Hausanschlüsse an einem Netzstrahl angeschlossen werden laut Tabelle in Abbildung 5.2 hat eine Netzstation im Siedlungsgebiet B drei Leitungsabgänge das ergibt 72 mögliche Hausanschlüsse mit 1,8 Wohneinheiten pro Hausanschluss (Tabelle in Abbildung 5.6) für den Netzbezirk kann jetzt die zu erwartende Höchstlast nach Gleichung 3 zu  $p_s = 2,53 \text{ kW}$  berechnet werden. Nun muss kontrolliert werden ob die Leitung in der Lage ist diese Leistung zu erbringen. Die max. übertragbare Leistung, mit  $\cos\varphi = 0,9$ , eines Netzstrahls beträgt nach Gleichung 6.3 149 kW. Die max. Hausanschlüsse in Abhängigkeit der übertragbaren Leistung berechnet sich nach Gleichung 6.4 zu 58 Wohneinheiten was 32 Hausanschlüssen entspricht. Somit sind alle Bedingungen erfüllt der Netzbezirk kann Modelliert werden.

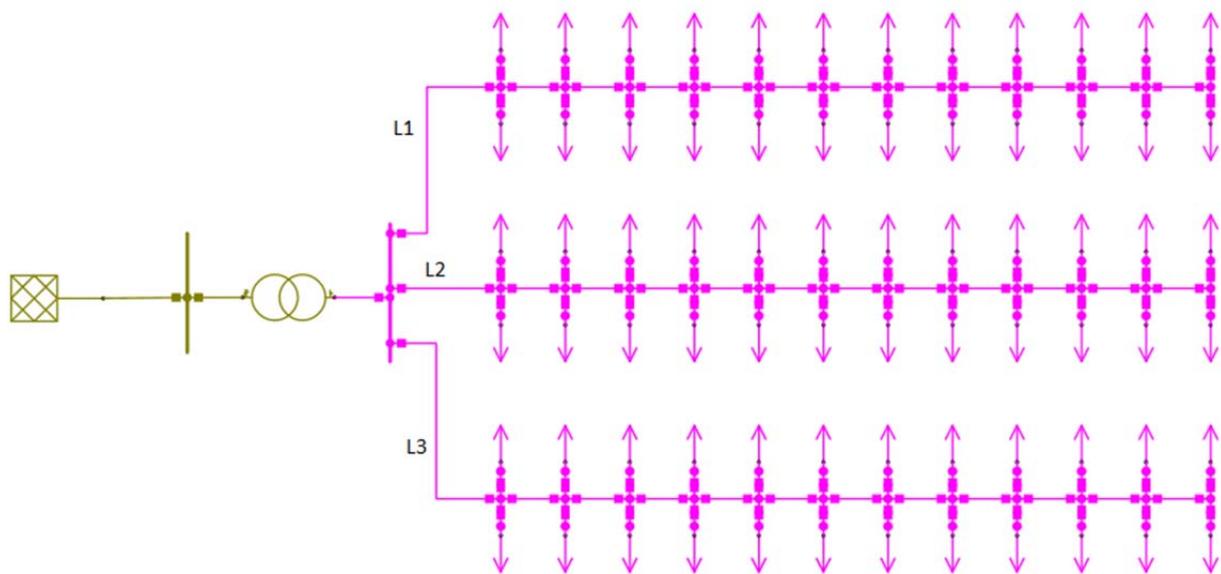


Abbildung 6.2 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp B

Stations- transformator	Leitungen u. Länge	Hausan- schlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 250 \text{ kVA}$	Overheadline $4 \times 70 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ ; L1 und L3=500m L2=485m	Overheadline $4 \times 25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ ; 12m	40m	1,8	2,53kW

Tabelle 6.2 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet B

### 6.3 Modellierung eines Netzbezirks des Siedlungstyps C

Siedlungstyp C (Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte) werden über Kabel, die unter dem Bürgersteig des zur Gebäudefront ausgerichteten Seite verlegt sind versorgt. Vorzugsweise wird Leitermaterial des Typs NAYY 4x150mm<sup>2</sup> Aluminium mit einem Bemessungsstrom von  $I_n = 270\text{A}$  verwendet. Die Absicherung in der Netzstation beträgt  $I_s = 240\text{ A}$ . Nach Gleichung 6.2 ergibt das eine maximale Leitungslänge von 730 m. Mit dem aus Tabelle 5.5 ermittelten mittleren Hausabstand von 18m können entlang eines Netzstrahles 40 Netzknoten zum Anbinden von Hausanschlüssen installiert werden. Nach Tabelle in Abbildung 5.2 beträgt die mittlere Anzahl an Leitungsabgängen 4 dies ergibt eine mögliche Anzahl von 160 Hausanschlüssen für diesen Netzbezirk. Mit der durchschnittlichen Anzahl Wohneinheiten pro Hausanschluss von 1,6 ergeben sich 256 Wohneinheiten nach Gleichung 3 beträgt die Höchstlast pro Wohneinheit  $p_s = 2,24\text{kW}$ . Laut Gleichung 6.4 können maximal 66 Wohneinheiten von einem Netzstrahl versorgt werden die zu versorgenden Wohneinheiten bei 40 Hausanschlüssen ergibt 64 somit genügt die übertragbare Leistung. Wie man in der Tabelle in Abbildung 5.3 sehen kann haben in der Praxis nur ein geringer Prozentsatz der Netzstrahlen für Siedlungstyp C eine Länge von zwischen 700m und 800m. Daher wurde hier eine Unterteilung der Netzstrahlen in Drei Netzstrahlabschnitte unternommen somit ergibt sich eine Netzstrahlabschnittlänge von ca. 240m was innerhalb der Spannweite für Siedlungstyp C laut Tabelle in Abbildung 5.4 liegt.

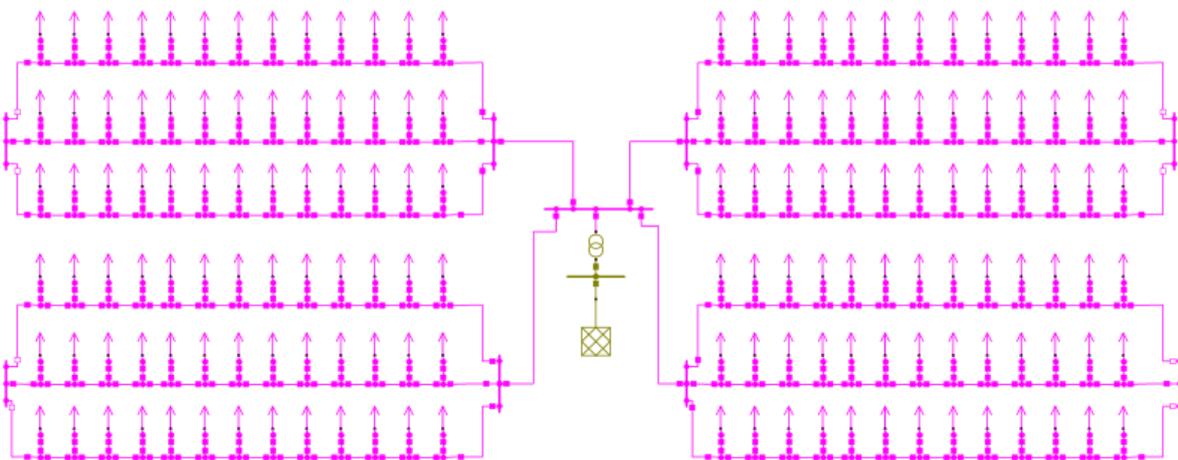


Abbildung 6.3 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp C

Stations- transformator	Leitungen u. Länge	Hausan- schlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 630\text{kVA}$	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> Al; 730m	NAYY 4x50mm <sup>2</sup> ; 12m	18m	1,6	2,24kW

Tabelle 6.3 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet C

## 6.4 Modellierung eines Netzbezirks des Siedlungstyps D

Siedlungstyp D (Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte mit Dorfkern) werden ebenso wie Siedlungstyp C (Ein- Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte) über Kabel versorgt. Vorzugsweise wird Leitermaterial des Typs NAYY 4x185 mm<sup>2</sup> Aluminium mit dem Bemessungsstrom von  $I_n = 308$  A verwendet. Die Absicherung in der Netzstation beträgt nach Gleichung 6.1  $I_s = 275$  A. Nach Gleichung 6.2 ergibt das eine maximale Leitungslänge von 1040 m. Mit einem mittleren Hausabstand von 22m aus Tabelle 5.5 können entlang des Netzstrahls 44 Netzknotten zum Anbinden von Hausanschlüssen angebracht werden. Mit dem Mittelwert von 1,4 Wohneinheiten pro Hausanschluss nach Tabelle in Abbildung 5.6 ergibt das 65 Wohneinheiten pro Netzstrahl. Nach Tabelle in Abbildung 5.2 beträgt die mittlere Anzahl an Leitungsabgängen 5 dies ergibt eine mögliche Anzahl von 325 Wohneinheiten mit Gleichung 3 beträgt die Höchstlast pro Wohneinheit  $p_s = 2,18$  kW. Nach Gleichung 6.4 können maximal 78 Wohneinheiten von einem Netzstrahl versorgt werden. Da in der Praxis keine Netzstrahlen mit einer Länge von 1040 m vorkommen muss der Netzstrahl in Abschnitte aufgeteilt werden. Mit Hilfe der Tabelle in Abbildung 5.4 wurden für Netzstrahlabschnitte für den Siedlungstyp D Spannweiten von 80m bis 180m ermittelt hier wurde ein Netzstrahl in 6 Netzstrahlabschnitte unterteilt das ergibt eine Länge von etwa 170m pro Netzstrahlabschnitt was innerhalb der Spannweite liegt.

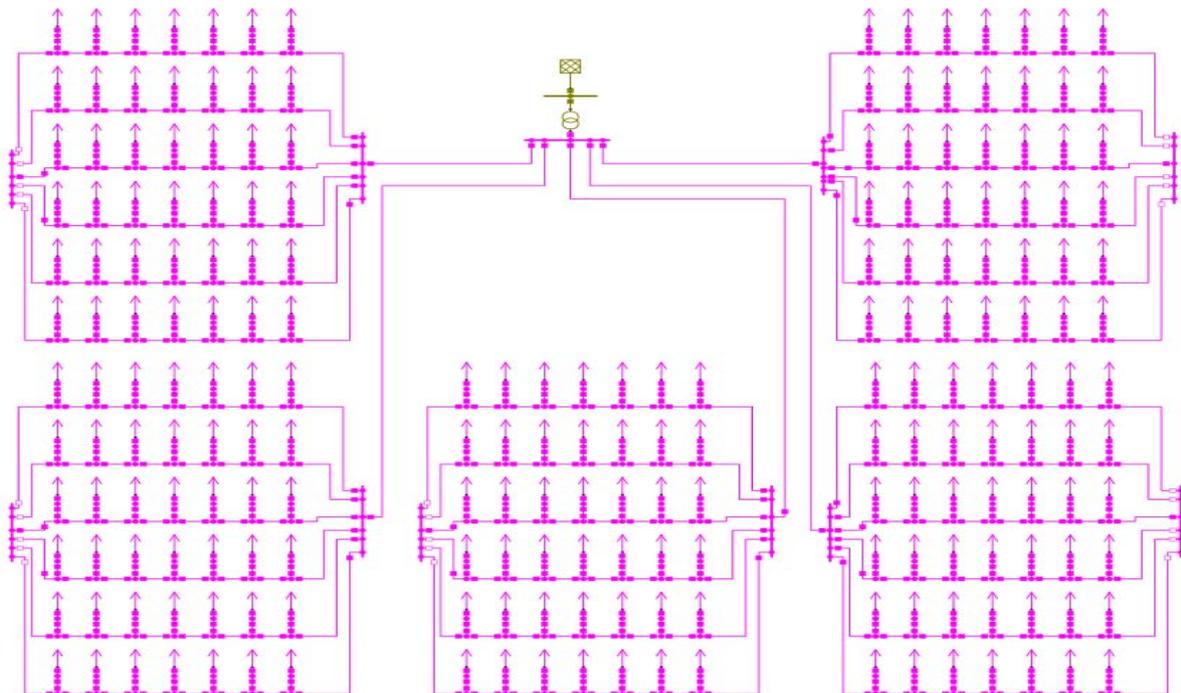


Abbildung 6.4 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp D

Stations- transformator	Leitungen u. Länge	Hausan- schlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 630\text{kVA}$	NAYY 4x185mm <sup>2</sup> Al; 800m	NAYY 4x50mm <sup>2</sup> ; 12m	22m	1,4	2,24kW

Tabelle 6.4 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet D

## 6.5 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp E

Siedlungstyp E (Reihenhausbebauung) werden über Kabel mit zweiseitiger Straßenbelegung versorgt. Das eingesetzte Leitungsmaterial ist NAYY 4 x 150 mm<sup>2</sup> Aluminium mit dem Bemessungsstrom  $I_n = 270$  A die Absicherung in der Netzstation beträgt nach Gleichung 6.1  $I_r = 240$  A. Die maximale Leitungslänge nach Gleichung 6.2 liegt bei 730 m. Mit einem mittleren Hausabstand von 15 m können 48 Hausanschlüsse an einem Netzstrahl installiert werden. Mit dem Mittelwert von 1,2 Wohneinheiten pro Hausanschluss nach Tabelle in Abbildung 5.6 ergeben sich 57 Wohneinheiten die von einem Netzstrahl versorgt werden können. Bei Vier Netzstrahlen pro Netzstation macht das 228 Wohneinheiten die an die Netzstation angebunden sind. Mit Gleichung 3 errechnet sich der Höchstlastanteil zu  $p_s = 2,2$  kW je Wohneinheit. Nun kann mit Hilfe von Gleichung 6.4 überprüft werden ob das Leitungsmaterial imstande ist die Wohneinheiten zu versorgen, die maximale Anzahl an versorgbaren Wohneinheiten ergibt 67 womit diese Bedingung erfüllt ist. Nach der Tabelle in Abbildung 5.4 wurde eine durchschnittliche Länge für Netzstrahlabschnitte des Siedlungstyps E von 180 m ermittelt. Das ergibt vier Netzstrahlabgänge pro Netzstrahl.

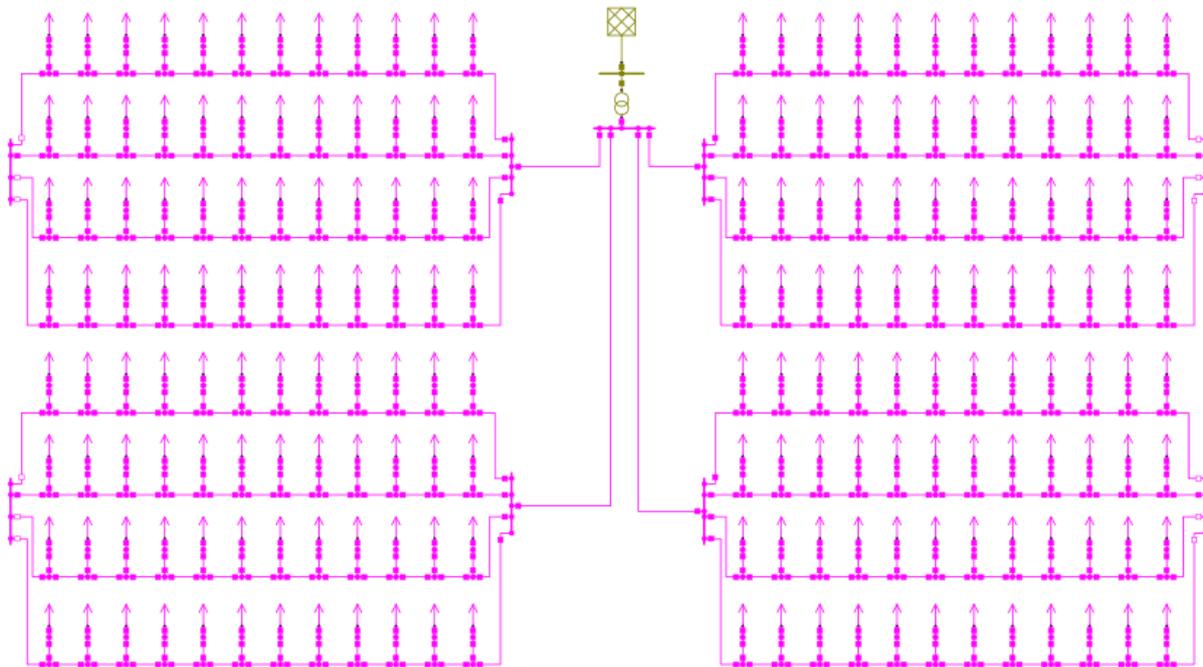


Abbildung 6.5 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp E

Stations- transformator	Leitungen u. Länge	Haus- anschlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 630\text{kVA}$	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> Al; 730m	NAYY 4x50mm <sup>2</sup> ; 8m	15m	1,2	2,2kW

Tabelle 6.5 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet E

## 6.6 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp F

Siedlungstyp F (Zeilenbebauung mittlerer Dichte) werden über Kabel mit dem Leitungsmaterial NAYY 4 x 150 mm<sup>2</sup> Aluminium versorgt. Der Bemessungsstrom beträgt 270 A nach Gleichung 6.1 ist die Netzstation mit 240 A abgesichert. Die übertragbare Leistung des Leitungsmaterials beträgt nach Gleichung 6.3  $P_{\max} = 149 \text{ kW}$ . Bei der Modellierung des Siedlungstyp F (Zeilenbebauung mittlerer Dichte) wurde bei diesem Beispiel von Gebäuden mit 30 Wohneinheiten ausgegangen mit einer geschätzten Höchstlastanteils von 2 kW je Wohneinheit können Zwei Hausanschlüsse an einem Netzstrahl angebracht werden. Bei Vier Abgängen (siehe Abbildung 5.2) ergeben sich Acht Hausanschlüsse mit insgesamt 240 Wohneinheiten der berechnete Höchstlastanteil nach Gleichung 3 ist somit  $p_s = 2,23 \text{ kW}$ . Wegen der hohen Anzahl an Wohneinheiten je Hausanschluss ergibt sich gegenüber den Siedlungstypen C und D (städtische Siedlungsstrukturen) eine Netztopologie mit nur wenigen Hausanschlüssen.

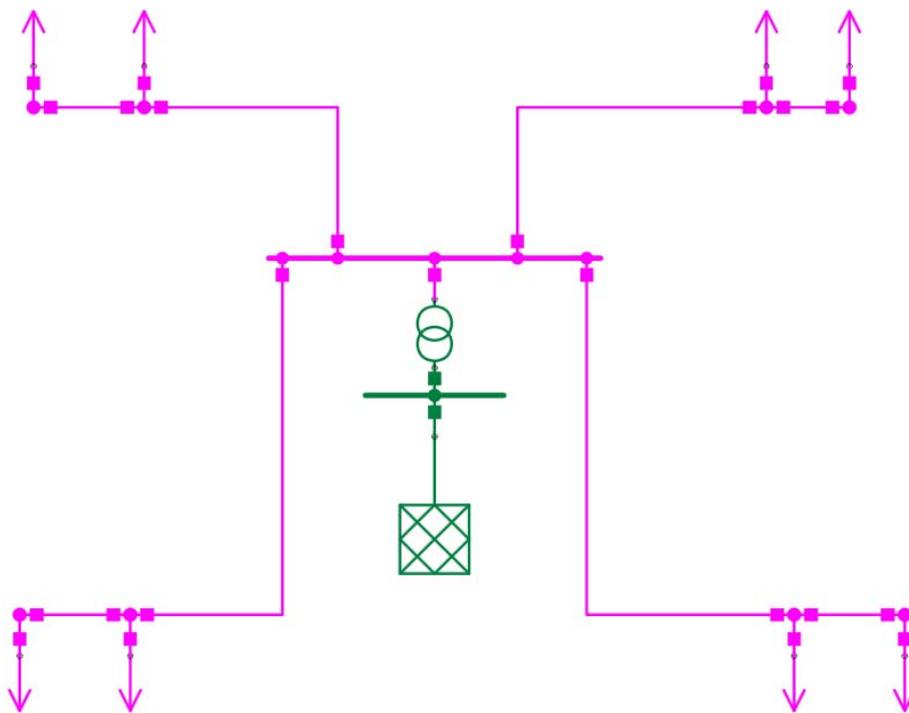


Abbildung 6.6 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp F

Stations- transformator	Leitungen und Länge	Hausan- schlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 630 \text{ kVA}$	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> Al; 93m	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> ; 12m	33m	30	2kW

Tabelle 6.6 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet F

## 6.7 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp G

Siedlungstyp H (Zeilenbebauung hoher Dichte mit Hochhäusern) soll hier über Kabel mit dem Leitungsmaterial NAYY 4 x 150 mm<sup>2</sup> Aluminium versorgt werden. Der Bemessungsstrom beträgt 270 A nach Gleichung 6.1 ist die Netzstation mit 240 A abgesichert. Die übertragbare Leistung des Leitungsmaterials beträgt nach Gleichung 6.3  $P_{\max} = 149 \text{ kW}$ . Gebäude im Siedlungstyp G werden entsprechend ihrer Größe vollständig von einem Netzstrahl versorgt. Mit durchschnittlich 41 Wohneinheiten je Hausanschluss und 6 Netzstrahlabgängen sind insgesamt 246 Wohneinheiten von der Netzstation zu versorgen, nach Gleichung 3 ergibt das einen Höchstlastanteil je Wohneinheit eine Leistung von  $p_s = 2,25 \text{ kW}$  je Wohneinheit.

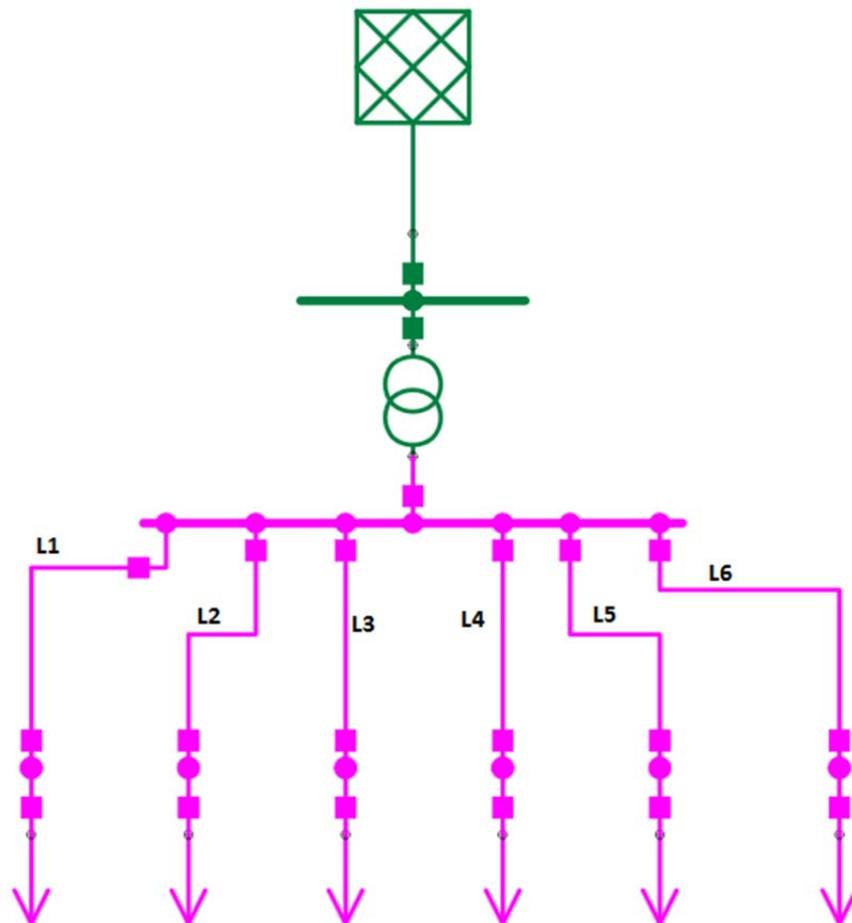


Abbildung 6.7 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp G

Stations- transformator	Leitungen und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Wohneinheiten je Hausanschluss
630kVA	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> Al; L1u.6=20m; L2u.5=50m; L3u.4=80m	30m	41	2,25kW

Tabelle 6.7 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet G

## 6.8 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp H

Siedlungstyp H (Blockbebauung) werden wie die meisten städtischen Siedlungsgebiete über Kabel mit vorzugsweise dem Leitungsmaterial NAYY 4 x 150mm<sup>2</sup> Aluminium versorgt. Der Bemessungsstrom der Leitung beträgt  $I_n = 270$  A und die Absicherung in der Netzstation ergibt nach Gleichung 6.1  $I_s = 240$  A. Die größte Anteil der Leitungslänge nach Tabelle in Abbildung 5.3 mit fast 50 % liegt zwischen 200m und 300 m daher soll in diesem Beispiel die Länge 260 m betragen. Bei einem mittleren Hausabstand von 30 m können an einem Netzstrahl somit 8 Hausanschlüsse angebracht werden. Mit durchschnittlich 9,2 Wohneinheiten pro Hausanschluss (siehe Tabelle in Abbildung 5.6) und Vier Netzstrahlabgängen nach Tabelle in Abbildung 5.2 werden insgesamt 294 Wohneinheiten von der Netzstation versorgt. Der mit Gleichung 3 berechnete Höchstlastanteil beträgt somit  $p_s = 2,2$  kW. Nach Gleichung 6.4 können maximal 67 Wohneinheiten von einem Netzstrahl versorgt werden dadurch wird die Anzahl der Wohneinheit je Hausanschluss bei diesem modellierten Referenznetz auf 8 begrenzt.

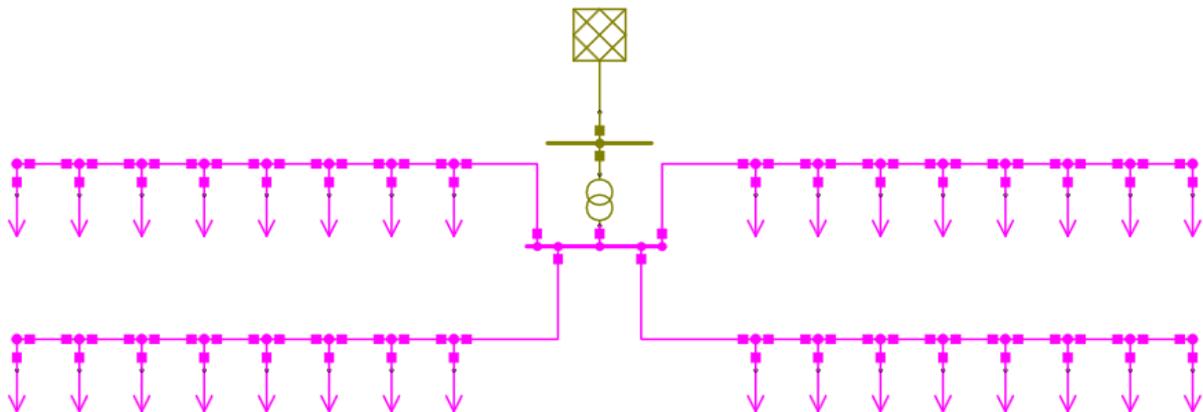


Abbildung 6.8 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp H

Stations- transformator	Leitungen und Länge	Hausan- schlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 630\text{kVA}$	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> Al; 260m	NAYY 4x50mm <sup>2</sup> ; 12m	30m	9,2	2,2kW

Tabelle 6.8 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet H

## 6.9 Modellieren eines Netzbezirks für den Siedlungstyp I

Siedlungstyp I (Mittelalterliche Altstadt) soll hier über Kabel mit dem Leitungsmaterial NAYY  $4 \times 150 \text{ mm}^2$  versorgt werden. Der Bemessungsstrom beträgt  $I_n = 308 \text{ A}$  nach Gleichung 6.1 ist die Netzstation mit  $I_s = 275 \text{ A}$  abgesichert. Da in der Praxis mittelalterliche Altstädte sehr verwinkelt auftreten wird die mittlere Netzstrahlänge aus Tabelle in Abbildung 5.4 von  $150 \text{ m}$  angenommen. Bei einem Hausabstand von  $12 \text{ m}$  (siehe Tabelle in Abbildung 5.5) können entlang eines Netzstrahls 12 Hausanschlüsse installiert werden. Mit der mittleren Anzahl von  $5,7$  Wohneinheiten je Hausanschluss, aus der Tabelle in Abbildung 5.6, werden von einem Netzstrahl  $68$  Wohneinheiten versorgt. Nach Tabelle in Abbildung 5.2 haben Netzbezirke des Siedlungstyp I im Schnitt  $5$  Leitungsabgänge dadurch ergeben sich insgesamt  $340$  Wohneinheiten die von der Netzstation versorgt werden. Der Höchstlastanteil nach Gleichung 3 berechnet sich zu  $p_s = 2,16 \text{ kW}$ .

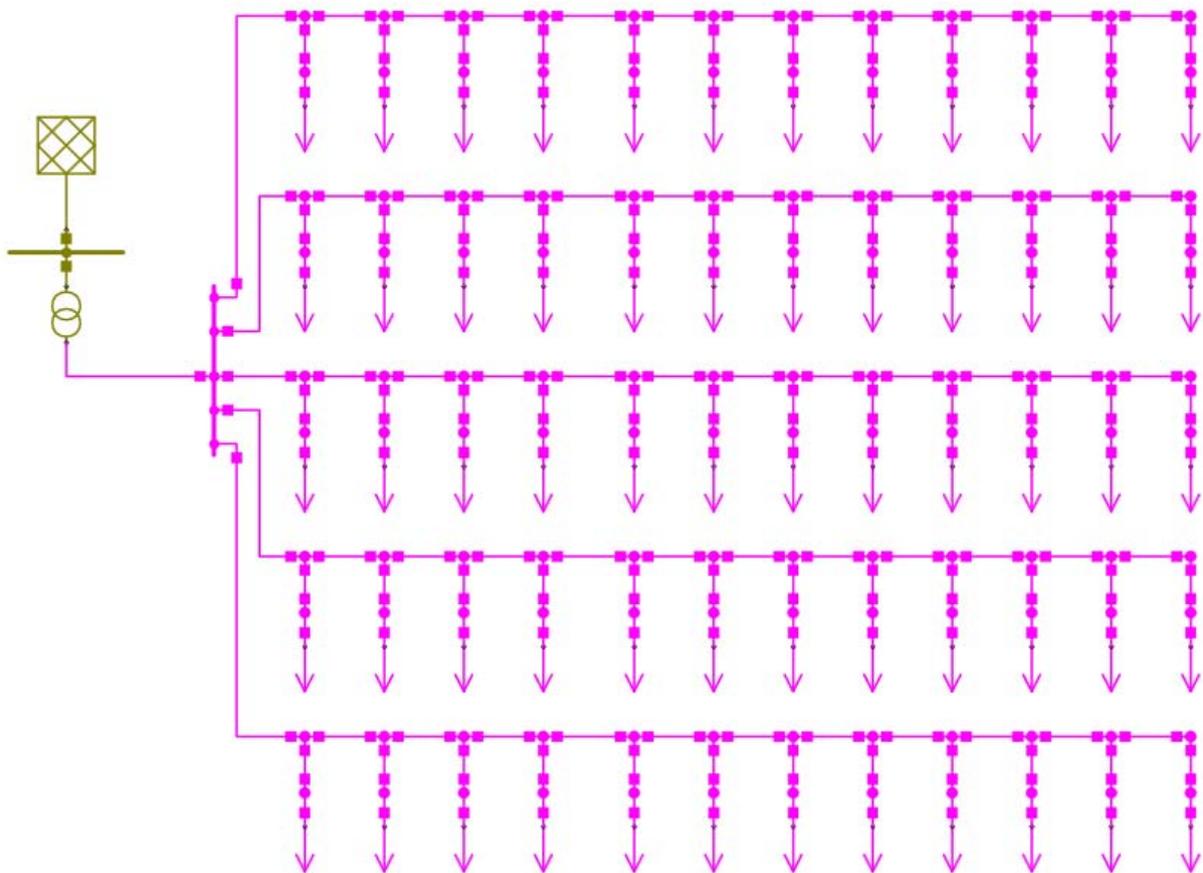


Abbildung 6.9 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp I

Stations- transformator	Leitungen und Länge	Hausan- schlussleitung und Länge	Abstand benachbarter Hausanschlüsse	Wohneinheiten je Hausanschluss	Höchstlastanteil
$S_n = 630 \text{ kVA}$	NAYY $4 \times 150 \text{ mm}^2$ Al; $150 \text{ m}$	NAYY $4 \times 70 \text{ mm}^2$ ; $8 \text{ m}$	$12 \text{ m}$	$5,7$	$2,16 \text{ kW}$

Tabelle 6.9 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet I



## 7.2 Exemplarisches Netz 2

Exemplarisches Netz für den Siedlungstyp C (Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte) aus der Dissertation „Auswirkungen auf die Niederspannungsnetze bei hoher Penetration von innerstädtischen Photovoltaikanlagen und Elektrofahrzeugen“ von M.Sc. Shaoqing Ying.

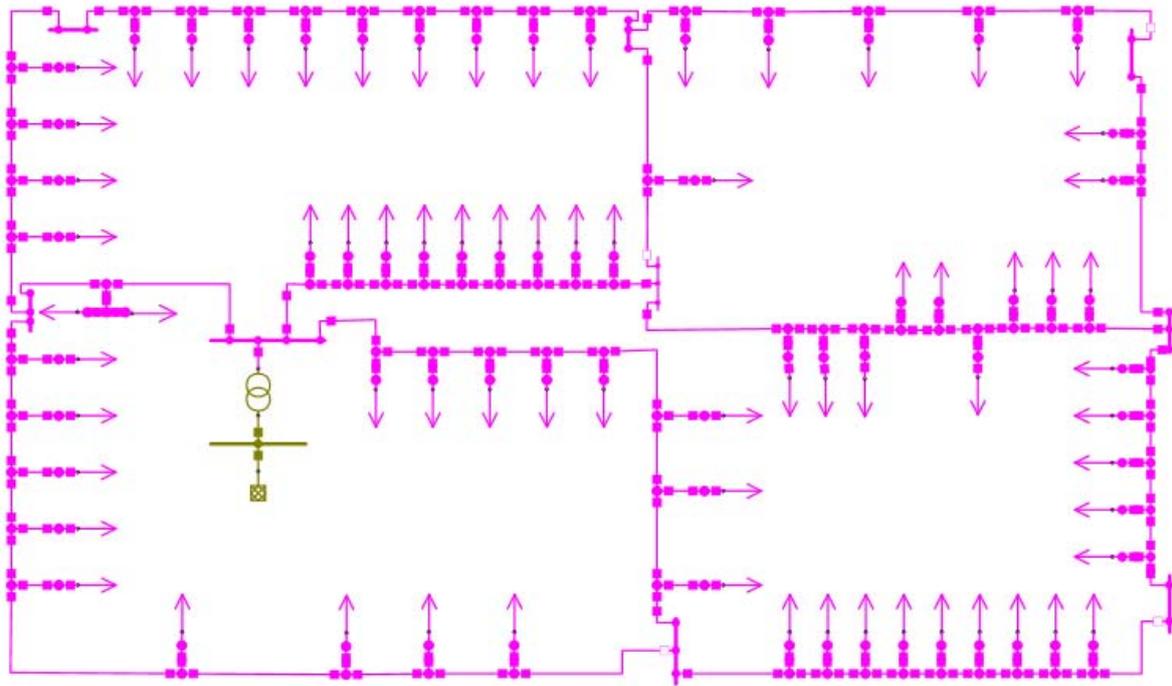


Abbildung 7.2 exemplarisches Netz nach [11]

### 7.3 Exemplarisches Netz 3

Exemplarisches Netz für den Siedlungstyp C (Ein- und Zweifamilienhaussiedlung niedriger Dichte) aus der Dissertation „Einsatz der symbolischen Modellreduktion zur Untersuchung der Betriebsführung im Smart Grid“ von Dipl.-Ing. Bernhard Wille-Hausmann.

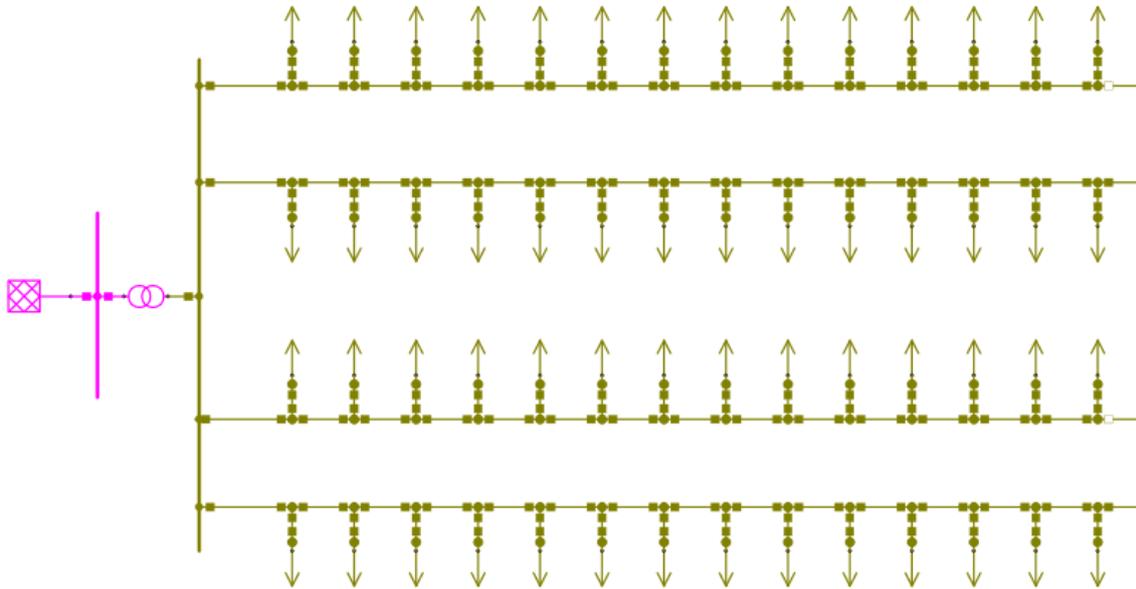


Abbildung 7.3 exemplarisches Netz nach [12]

## 8. Vergleich der Exemplarischen Netze mit den Modellierten Referenznetzen

Im Folgenden werden nun die exemplarischen Netze mit den modellierten Referenznetzen nach Siedlungstypen miteinander verglichen wobei alle Parameter und eingesetzte Betriebsmittel gegenübergestellt werden.

### 8.1 Vergleich des Siedlungstyp B (Dörfer mit überwiegend Gehöften)

Zum Vergleich des modellierten Netzes des Siedlungstypen B (Dörfer mit überwiegend Gehöften) wurde ein Exemplarisches Netz aus [7] herangezogen hier als Exemplarisches Netz 1 benannt. Um einen übersichtlicheren Vergleich anstellen zu können sind die Gegenüberstellung soweit möglich in Form von Tabellen und Diagrammen realisiert worden.

	Exemplarisches Netz 1	Referenznetz
Stationstransformator	$S_n = 250 \text{ kVA}$	$S_n = 250 \text{ kVA}$
Leitungsmaterial und Länge	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , 126-715m	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , 500m
Hausanschlussleitung u. Länge	NAYY 4x25 mm <sup>2</sup> , 8-12m	NAYY 4x35 mm <sup>2</sup> , 12m
Hausanschluss Abstand	≈42 m	40 m
Wohneinheit je Hausanschluss	1,3	1,8

Tabelle8.1 Vergleichstabelle für Siedlungstyp B

Wie aus der obigen Tabelle hervorgeht sind die Stationstransformatoren und das Leitungsmaterial identisch, da es sich bei dem Exemplarisches Netz um ein existierendes Netz handelt besteht bei der Länge des Kabels eine Spannweite da in der Praxis nicht alle Straßen dieselbe Länge aufweisen. Bei der Länge des Leitungsmaterials für die Hausanschlussleitung gilt dasselbe.

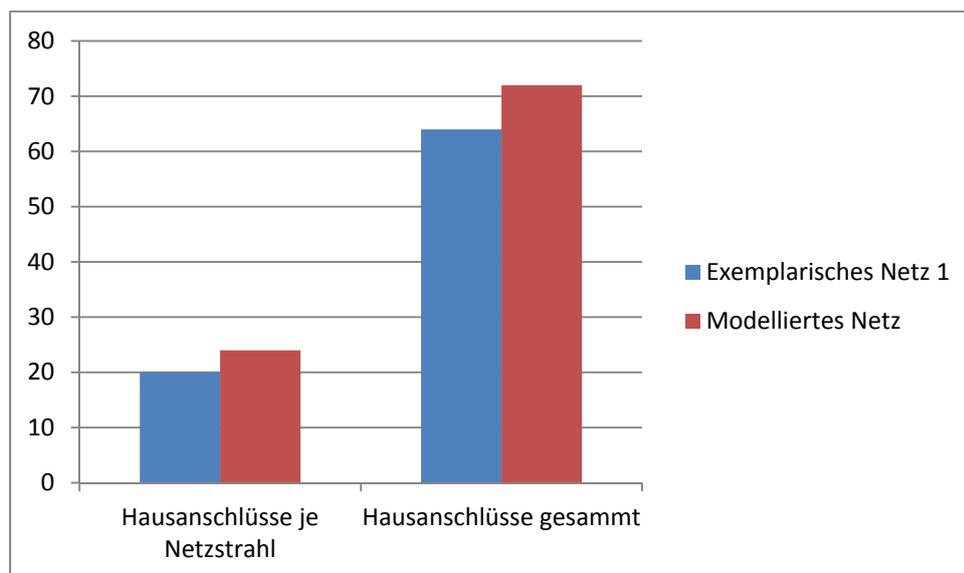


Tabelle 8. Vergleichstabelle für Siedlungstyp B

Wie man in dem Diagramm gut erkennen kann sind nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Netzen für die Gesamtzahl- und die Anzahl der Hausanschlüsse je Netzstrahl vorhanden. Somit kommt das modellierte Referenznetz einem realen Netz sehr nahe.

## 8.2 Vergleich des Siedlungstyp C (Ein- und Zweifamilienhaus-siedlung niedriger Dichte)

Zum Vergleich des modellierten Netzes des Siedlungstypen C (Ein- und Zweifamilienhaus-siedlung niedriger Dichte) wurden Exemplarische Netze aus [7] Exemplarisches Netz 1, aus [11] Exemplarisches Netz 2 und [12] Exemplarisches Netz 3 herangezogen.

	Exemplarisches Netz 1	Exemplarisches Netz 2	Referenznetz
Stationstransformator	400 kVA	630 kVA	400 kVA
Leitungsmaterial und Länge	NFA2X 4x95mm <sup>2</sup> , 96-331m	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , <250m	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , 234m
Hausanschlussleitung u. Länge	NFA2X 4x25mm <sup>2</sup> , 9-15m	Keine Angaben	NAYY 4x50 mm <sup>2</sup> , 12m
Hausanschluss Abstand	19-21m	≈18m	18m
Wohneinheit je Hausanschluss	1,05	1,14	1,6

Tabelle 8.2 Vergleichstabelle für Siedlungstyp C

In der obigen Tabelle wurde das Exemplarische Netz 3 leider außen vor gelassen da keine, außer der Nennleistung für den Transformator mit  $S_n = 630$  kVA, Angaben zu den Parametern gemacht wurden. Die Stationstransformatoren bei Exemplarisches Netz 2, Exemplarisches Netz 3 und dem Referenznetz stimmen überein in Abbildung 5.1 sind 400 kVA wie auch 630 kVA Transformatoren als die gängigsten für den Siedlungstypen C aufgeführt was sich hier widerspiegelt. Das Leitungsmaterial für Exemplarisches Netz 2 und des Referenznetzes sind identisch das für Exemplarisches Netz 1 unterscheidet sie sich zwar hat aber mit  $I_{zul} = 265$ A nahezu denselben Bemessungsstrom (für NAYY 4x150mm<sup>2</sup>  $I_{zul} = 270$ A). Der Abstand zwischen benachbarten Hausanschlüssen ist nahezu gleich.

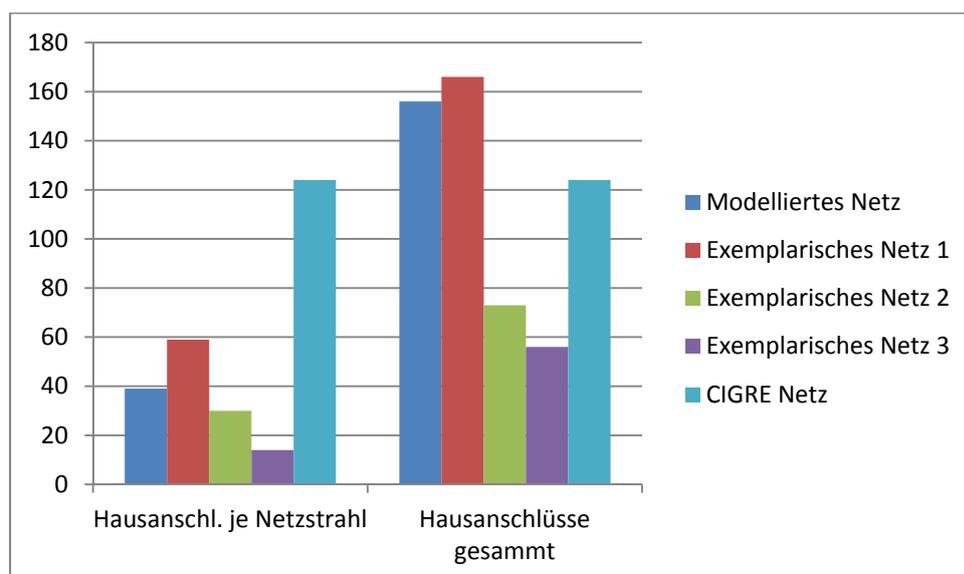


Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp C

Bei den Hausanschlüssen je Netzstrahl kann man erkennen das das Referenznetz zwischen den Werten von Exemplarisches Netz 1 und den Exemplarische Netzen 2 und 3 liegt was einen guten durchschnitt darstellt. Das CIGRE - Netz liegt mit 124 Anschlüssen weit drüber

da in der Topologie Darstellung der Netzbezirk nicht im Detail dargestellt wurde und dieser Wert an einem Netzstrahl angegeben war. Für die Hausanschlüsse insgesamt liegen das Referenz- netz und Exemplarisches Netz 1 nah beieinander, die Exemplarische Netze 2 und 3 weisen etwa nur die Hälfte an Hausanschlüssen auf was daran liegen kann das diese Netzbezirke wegen örtlicher Begebenheiten kleiner ausfallen.

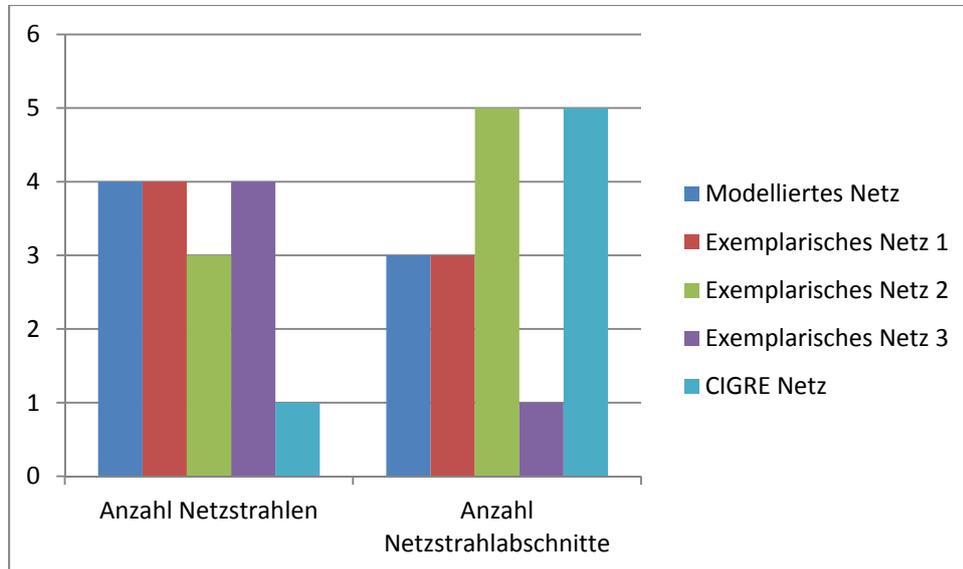


Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp C

Bei der Anzahl Netzstrahlen gibt es nur kaum Unterschiede außer für das Cigre – Netz, aus dem zuvor genannten Grund der undetaillierten Darstellung der Topologie. Für die Netzstrahlabschnitte stellt das Referenznetz wieder ein Durchschnittswert dar.

### 8.3 Vergleich des Siedlungstyp D (Zweifamilienhaussiedlung hoher Dichte mit Dorfkern)

Zum Vergleich des modellierten Netzes des Siedlungstypen D (Zweifamilienhaussiedlung hoher Dichte mit Dorfkern) wurden Exemplarische Netze aus [7] Exemplarisches Netz 1 und aus [11] Exemplarisches Netz 2 herangezogen.

	Exemplarisches Netz 1	Exemplarisches Netz 2	Referenznetz
Stationstransformator	630 kVA	630 kVA	630 kVA
Leitungsmaterial und Länge	k.A. 57-237m	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , <250m	NAYY 4x185 mm <sup>2</sup> , 234m
Hausanschlussleitung u. Länge	Keine Angaben, 8-12m	Keine Angaben	NAYY 4x50 mm <sup>2</sup> , 12m
Hausanschluss Abstand	20-30m	≈16m	22m
Wohneinheit je Hausanschluss	Keine Angaben	1,14	1,4

Tabelle 8.3 Vergleichstabelle für Siedlungstyp D

Hier weisen alle Netze einheitlich einen Stationstransformator mit einer Nennleistung von  $S_n = 630 \text{ kVA}$  vor. Das Leitungsmaterial der Kabel für das Referenznetz ist wegen der höheren Anzahl Hausanschlüssen und Wohneinheiten je Hausanschluss gegenüber dem Exemplarischen Netzes 2 größer bemessen, die Länge der Netzstrahlabschnitte bei Exemplarisches Netz 1 weist eine große Spannweite auf da hier Netznutzer in Seitenstraßen über kurze Stichleitungen versorgt werden, sind bei allen aber  $< 250\text{m}$ . Der Abstand benachbarter Hausanschlüsse variiert bei Exemplarisches Netz 1 aufgrund der örtlichen Begebenheiten.

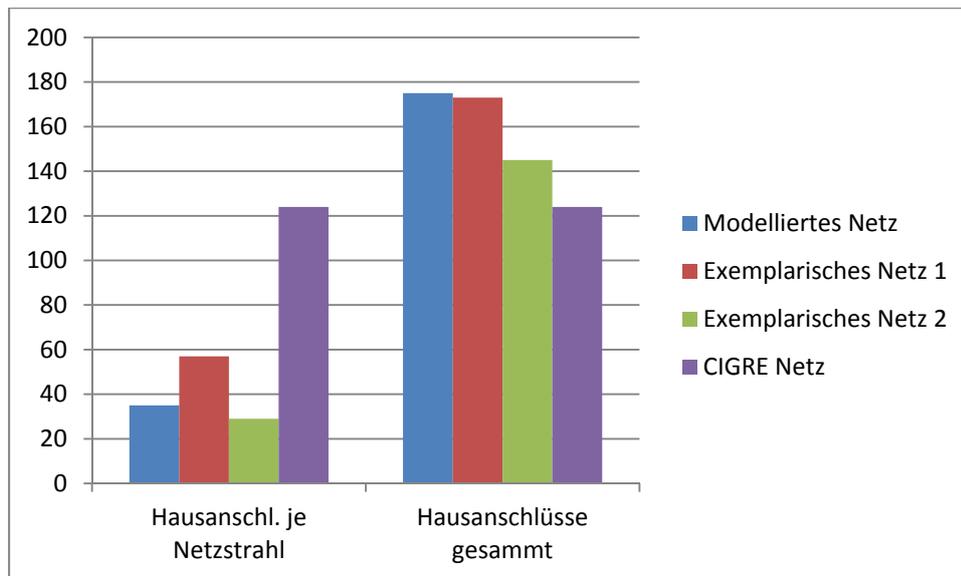


Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp D

Die Anzahl Hausanschlüsse je Netzstrahl für das Referenznetz und das Exemplarische Netzes 2 liegen nah beieinander, das Exemplarische Netzes 1 ist zwar höher, aber bei den Hausanschlüssen insgesamt fast gleich dem Referenznetz. Dies kann auf die Versorgung von Netznutzern in Seitenstraßen über Stichleitungen zurückgeführt werden.

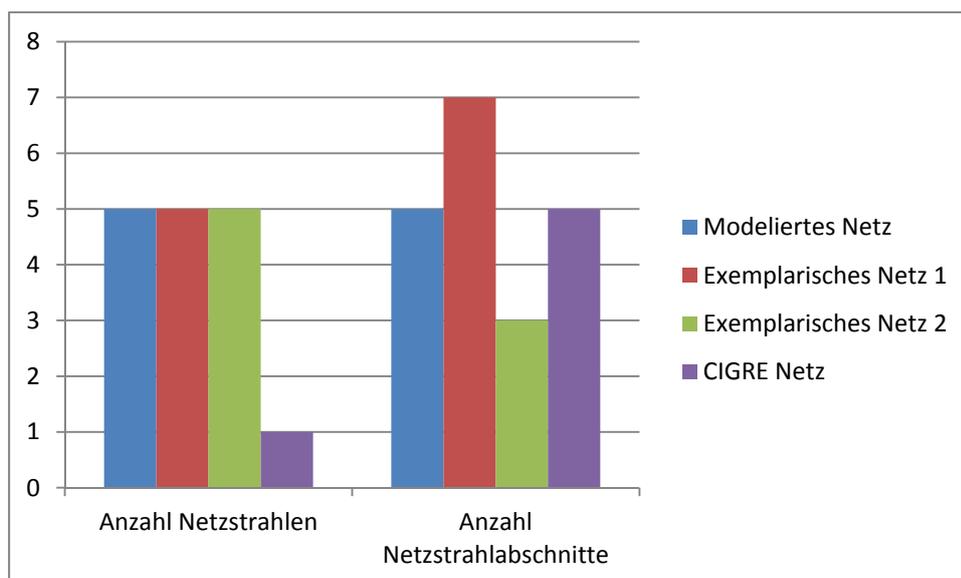


Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp D

Die Anzahl Netzstrahlen bei allen Netzen, außer dem CIGRE Netz, sind identisch. Bei den Netzstrahlabschnitten hat das Exemplarische Netz 1 Zwei Netzstrahlabschnitte mehr und das Exemplarische Netz 2 Zwei Netzstrahlen weniger als das modellierte Referenznetz dies ergibt einen Durchschnittswert für ein Netzbezirk des Siedlungstyps D.

## 8.4 Vergleich des Siedlungstyp G (Zeilenbebauung hoher Dichte)

Zum Vergleich des modellierten Netzes des Siedlungstypen G (Zeilenbebauung hoher Dichte) wurden Exemplarische Netze aus [7] Exemplarisches Netz 1 und aus [11] Exemplarisches Netz 2 herangezogen.

	Exemplarisches Netz 1	Exemplarisches Netz 2	Referenznetz
Stationstransformator	400 kVA	630 kVA	630 kVA
Leitungsmaterial und Länge	NAYY 4x120 mm <sup>2</sup> , 75-309 m	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> , < 200 m	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , < 150 m
Wohneinheiten je Hausanschluss	35	55	41

Tabelle 8.3 Vergleichstabelle für Siedlungstyp G

Hier ist bei Exemplarisches Netz 1 gegenüber dem Referenznetz und dem Exemplarisches Netz sowohl der Stationstransformator wie auch die das Leitungsmaterial kleiner bemessen. Dies kann auf die geringere Anzahl Wohneinheiten je Hausanschluss gegenüber dem Referenznetz und dem Exemplarisches Netz zurückgeführt werden. Hausanschlussleitungen gibt es in diesem Fall nicht da jeder Netzstrahl direkt zum Hausanschlusskasten führt.

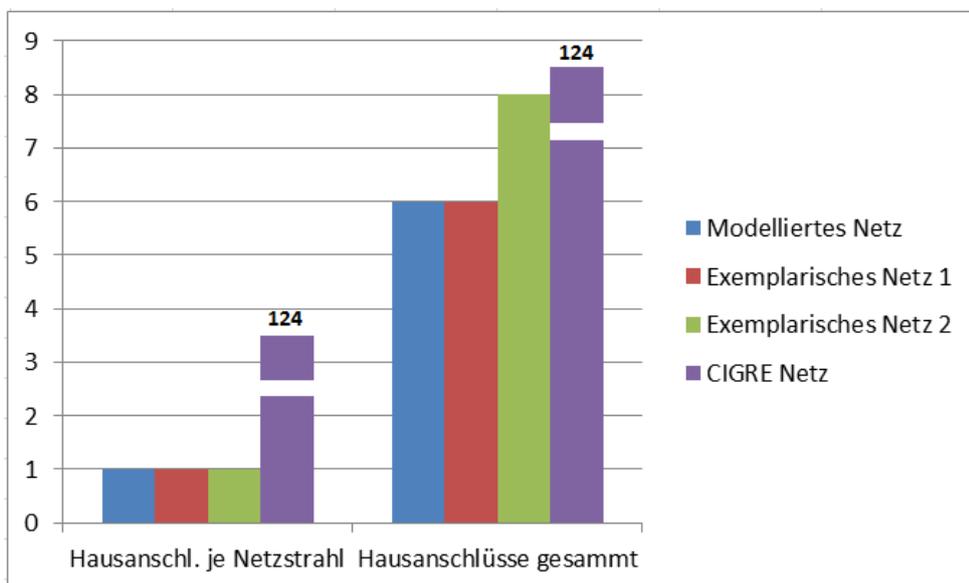


Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp G

Wie hier deutlich zu erkennen werden Gebäude des Siedlungstyps G entsprechend ihrer Größe vollständig von einem Netzstrahl versorgt.

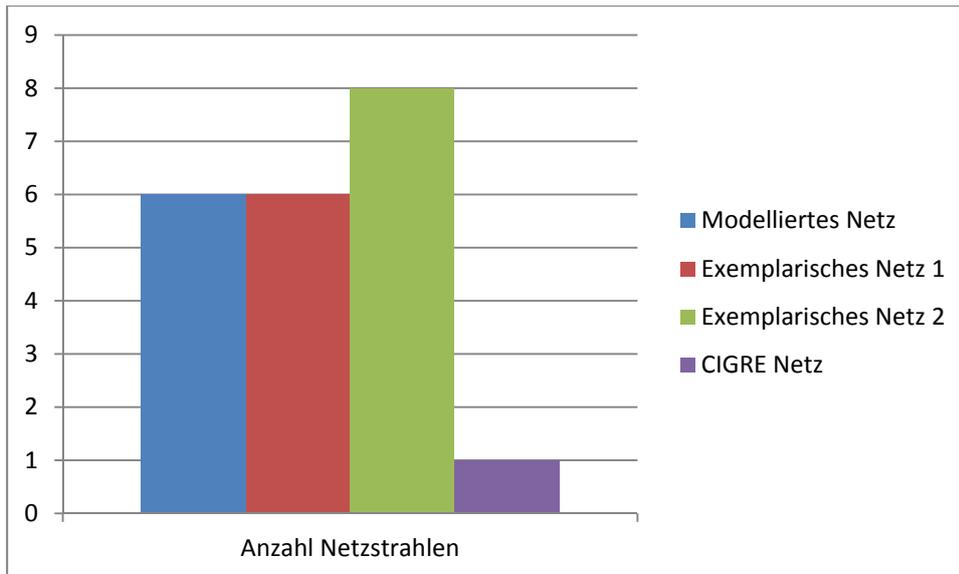


Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp G

In diesem Diagramm wurde nur die Anzahl der Netzstrahlen aufgeführt da keine Netzstrahlabschnitte vorhanden sind. Jeder Netzstrahl führt zu genau einem Gebäude.

## 8.5 Vergleich des Siedlungstyp H (Blockbebauung)

Zum Vergleich des modellierten Netzes des Siedlungstypen H (Blockbebauung) wurden Exemplarische Netze aus [7] Exemplarisches Netz 1 und aus [11] Exemplarisches Netz 2 herangezogen.

	Exemplarisches Netz 1	Exemplarisches Netz 2	Referenznetz
Stationstransformator	630 kVA	630 kVA	630 kVA
Leitungsmaterial und Länge	NAYY 4x150mm <sup>2</sup> , 96-235m	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> , <200m	NAYY 4x185 mm <sup>2</sup> , 250m
Hausanschlussleitung u. Länge	NAYY 4x25mm <sup>2</sup> , 8-12m	Keine Angaben	NAYY 4x50 mm <sup>2</sup> , 12m
Hausanschluss Abstand	25-30m	≈13m	30 m
Wohneinheit je Hausanschluss	9	8,9	9,2

Tabelle 8.4 Vergleichstabelle für Siedlungstyp H

Wie aus der obigen Tabelle zu entnehmen wurden bei allen Drei Netzen ein Stationstransformator derselben Nennleistung von  $S_n = 630$  kVA und das selbe Leitungsmaterial eingesetzt, auch die Wohneinheiten je Hausanschluss liegen nah beieinander Unterschiede gibt es bei dem Abstand der Hausanschlüsse. Bei dem Exemplarisches Netz 1 gegenüber dem Referenznetz sind es nur einige Meter, für Exemplarisches Netz 2 gegenüber dem den anderen beiden ist ein großer unterschied was auf die Bauform bzw. Grundrissfläche der Gebäude zurückführbar ist.

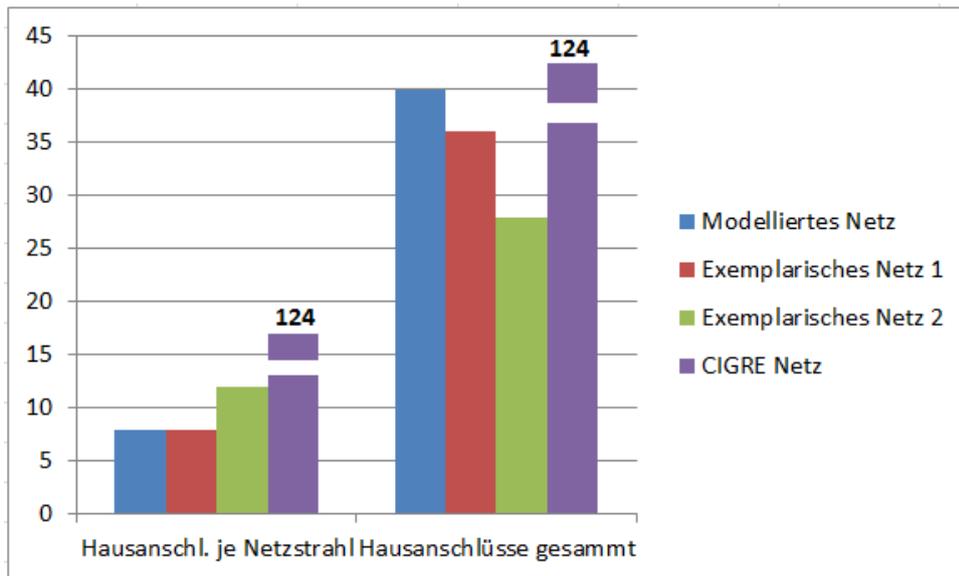


Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp H

Die Anzahl Hausanschlüsse je Netzstrahl ist bei dem Referenznetz und dem Exemplarisches Netz 1 gleich, Exemplarisches Netz 2 hat Drei Hausanschlüsse mehr allerdings nur in einem Netzstrahl (siehe Anhang). Die Hausanschlüsse insgesamt liegen bei dem Referenznetz und dem exemplarischen Netz 1 nah beieinander, das exemplarische Netz 2 hat eine geringere Anzahl da dieses Netz weniger Netzstrahlen aufweist.

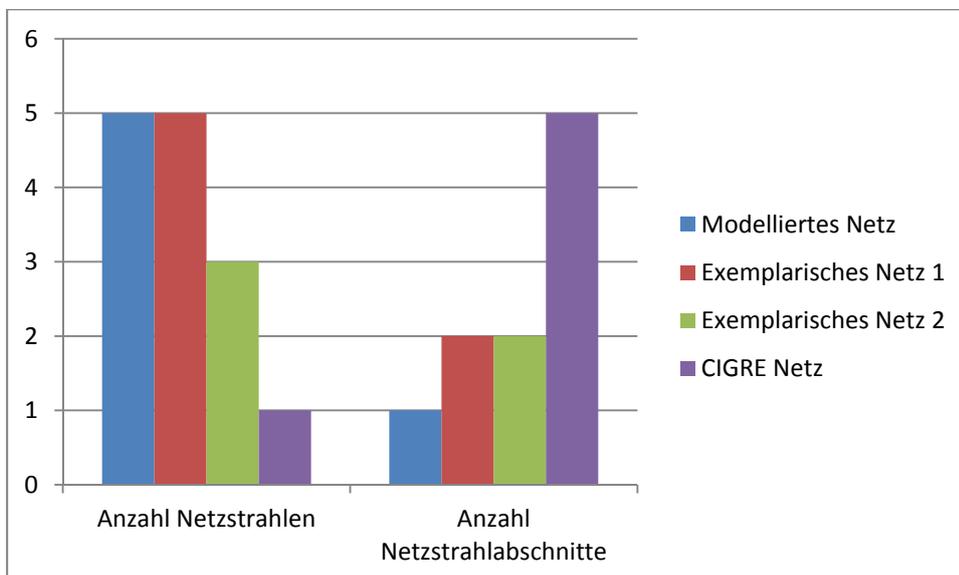


Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp H

Die Anzahl Netzstrahlen für das Referenznetz und Exemplarisches Netz 1 sind gleich, Exemplarisches Netz 2 hat mit nur Drei Netzstrahlen eine geringere Anzahl die kann wieder der Einfluss der örtlichen Begebenheiten sein. Die Exemplarische Netze haben beide Zwei Netzstrahlabschnitte auch dies ist auf die örtlichen Begebenheiten zurückzuführen.

Die Exemplarische Netze und Referenznetze für alle Siedlungstypen sind im Anhang, für eine bessere Ansicht, auf jeweils einer Seite abgebildet.

## 9. Zusammenfassung

Beim Modellieren von Niederspannungsnetzbezirken spielen neben den Siedlungsstrukturen die eingesetzten Betriebsmittel und die Lasten eine große Rolle. In ländlichen Gebieten mit geringer dichte der Besiedlung ist das Leitungsmaterial und ihre maximale Länge Hauptkriterium für die Größe des Netzbezirks da die zu versorgenden Netznutzer meist sehr weit auseinander liegen. In städtischen Gebieten mit dichter Besiedlung liegt das Augenmerk eher in der Bemessung der Betriebsmittel und den zu erwartenden Lasten die auftreten können. Da die übertragbare Leistung des Leitungsmaterials begrenzt ist kann bei einem bestimmten Höchstlastanteil je Wohneinheit auch nur eine begrenzte Anzahl Wohneinheiten an eine Leitung angebunden werden. Dasselbe gilt auch für den Stationstransformator hier wird die Anzahl Wohneinheiten in einem Netzbezirk durch die Nennleistung begrenzt. Wie in der Praxis ist auch bei Referenznetzen eine Vielzahl von Topologien möglich dies wird durch die gewählten Parameter bestimmt z.B. bei einer Netzstrahlänge von 400m und einem Hausabstand von 20m können theoretisch 20 Hausanschlüsse entlang des Netzstrahles angebracht werden. Ändert man den Parameter für den Hausabstand von 20m auf 25m sind es nur noch 16 Hausanschlüsse und die Topologie ändert sich dies gilt auch für die anderen Parameter die bei der Erstellung des Referenznetzes zu berücksichtigen sind. Die Vorgehensweise in dieser Arbeit, zum Erstellen von Referenznetzen in der Niederspannungsebene, soll eine Methode vorstellen die durch die dargestellten Parameter für bestimmte Siedlungsstrukturen das Erstellen von Referenznetzen vereinfacht.

## Anhang

### Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp B

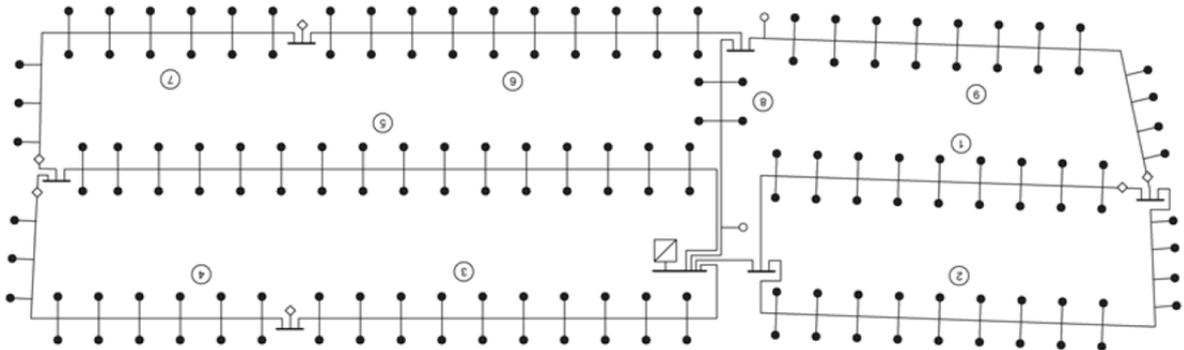


Abbildung 10.1 Exemplarisches Netz [7]

### Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp C

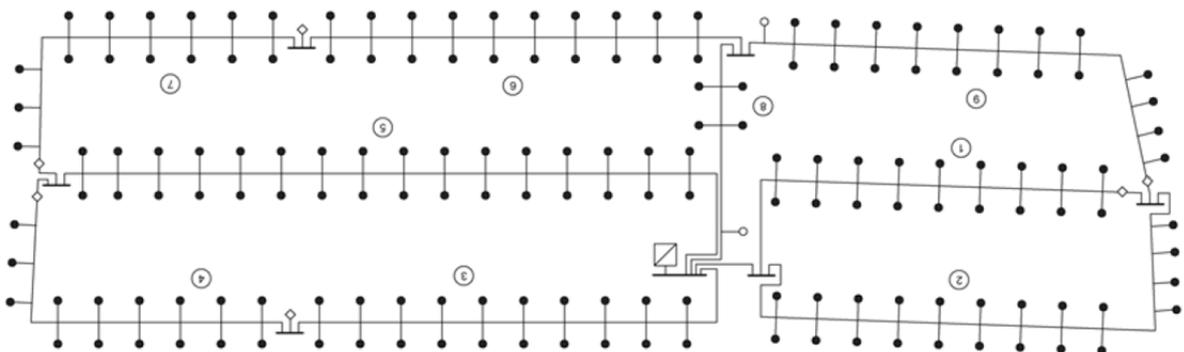


Abbildung 10.2 Exemplarisches Netz [7]

## Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp D

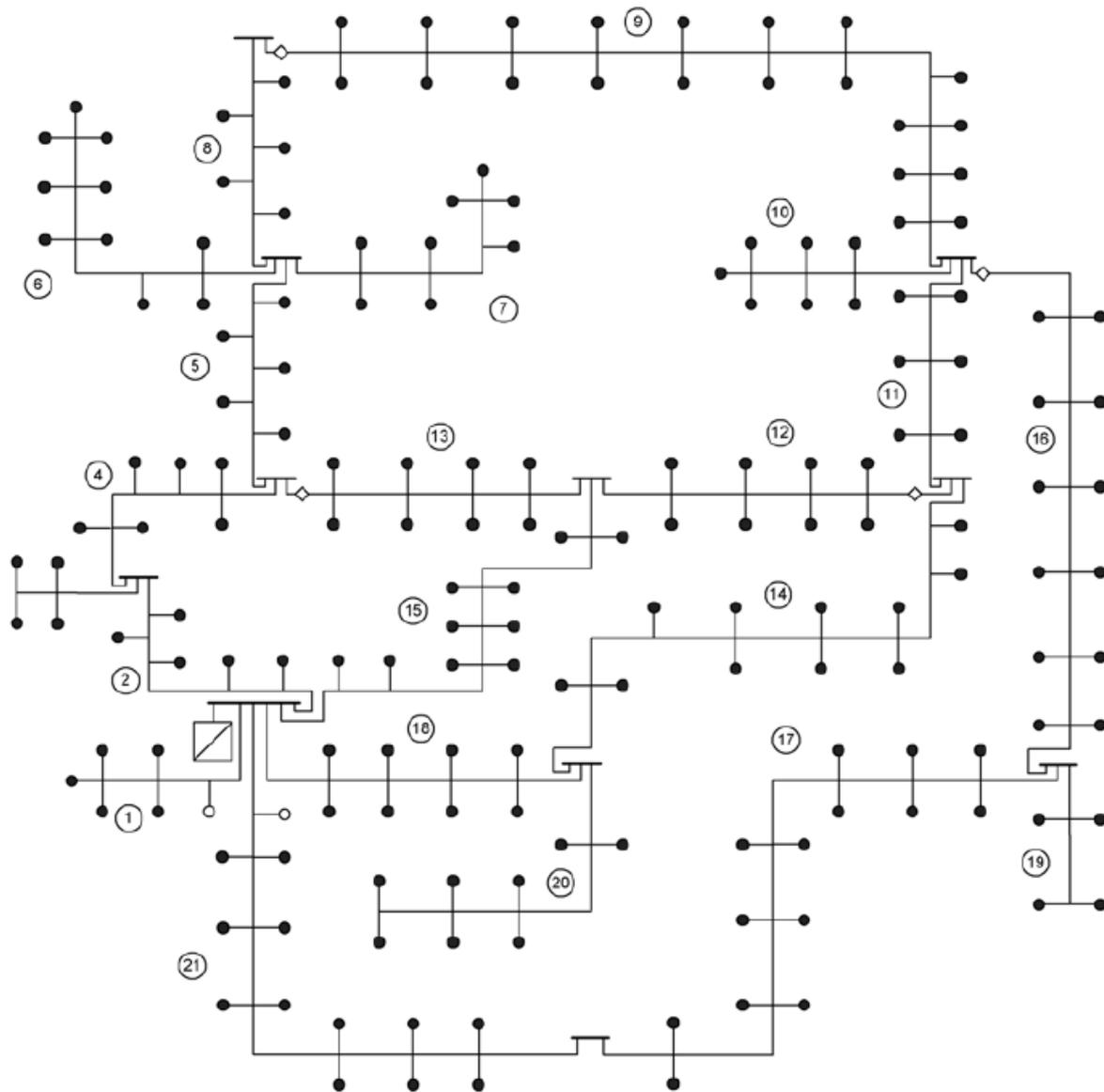


Abbildung 10.3 Exemplarisches Netz [7]

## Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp G

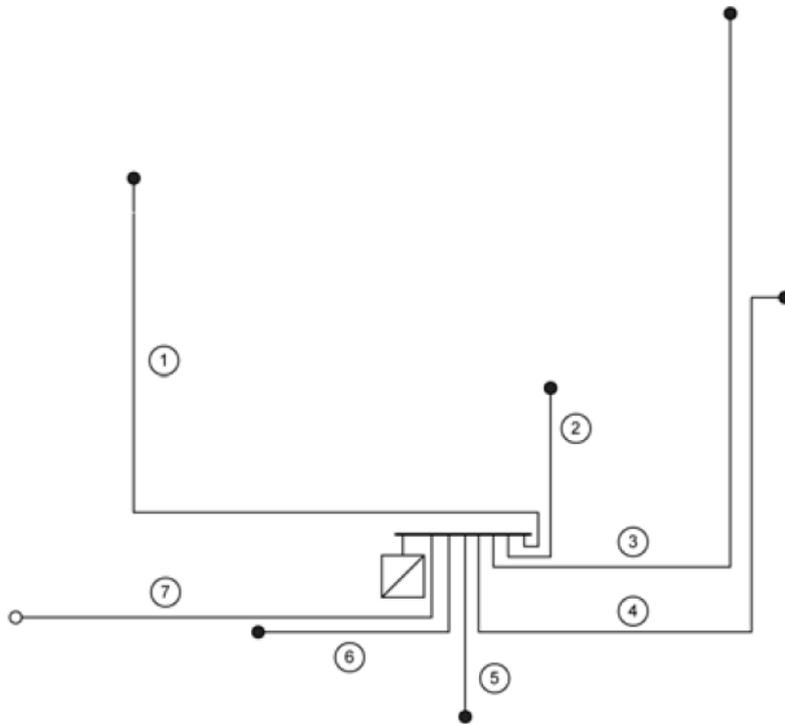


Abbildung 10.4 Exemplarisches Netz [7]

## Exemplarisches Netz 1 für den Siedlungstyp H

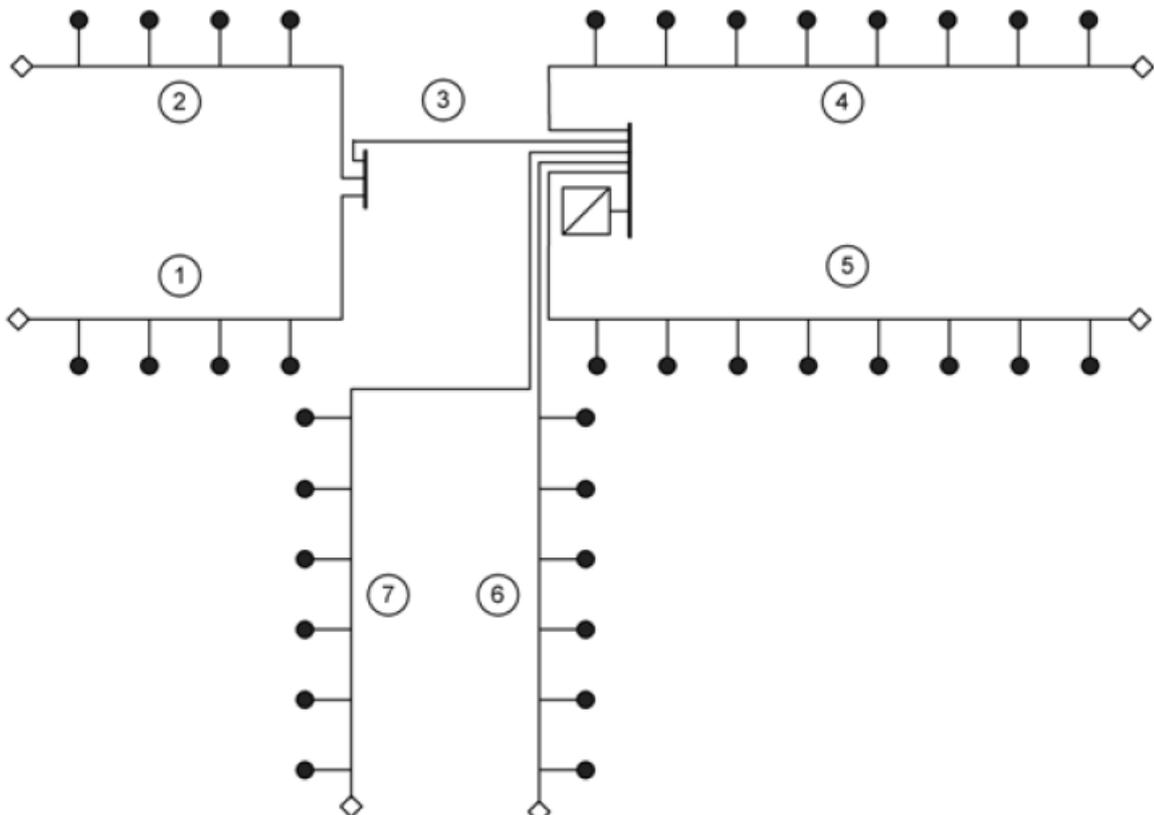


Abbildung 10.5 Exemplarisches Netz [7]

## Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp C

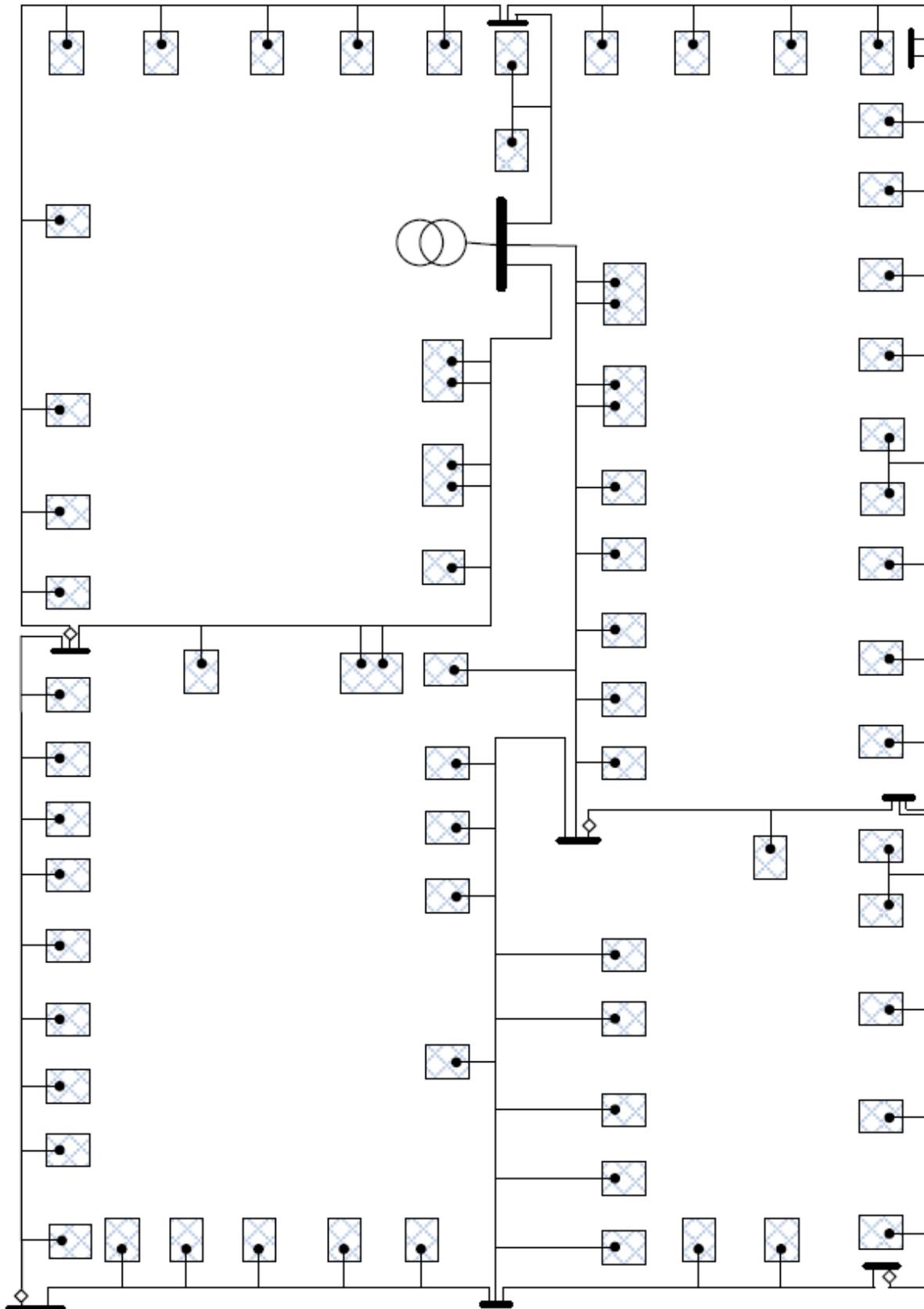


Abbildung 10.6 Exemplarisches Netz [11]

## Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp D

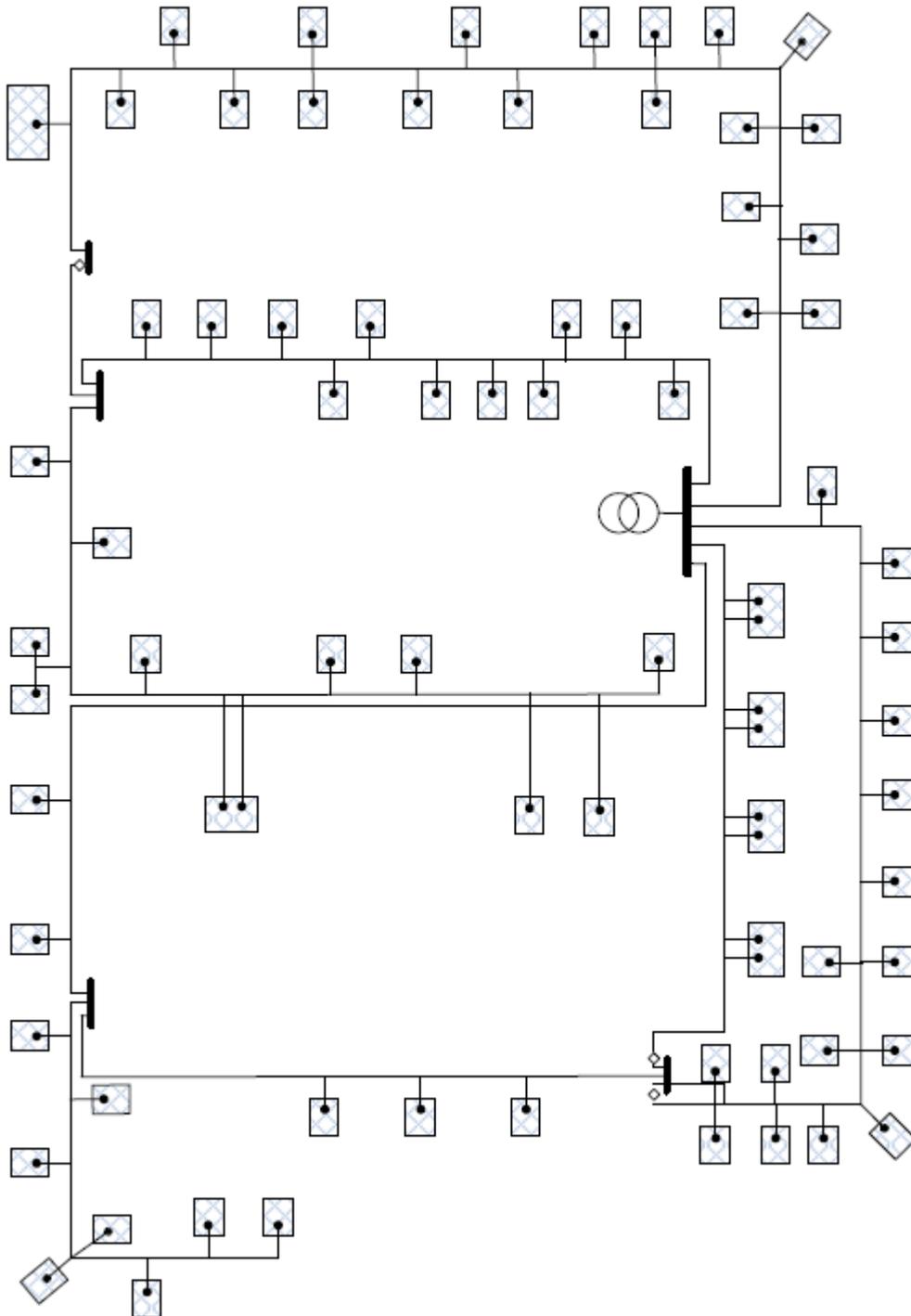


Abbildung 10.7 Exemplarisches Netz [11]

## Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp G

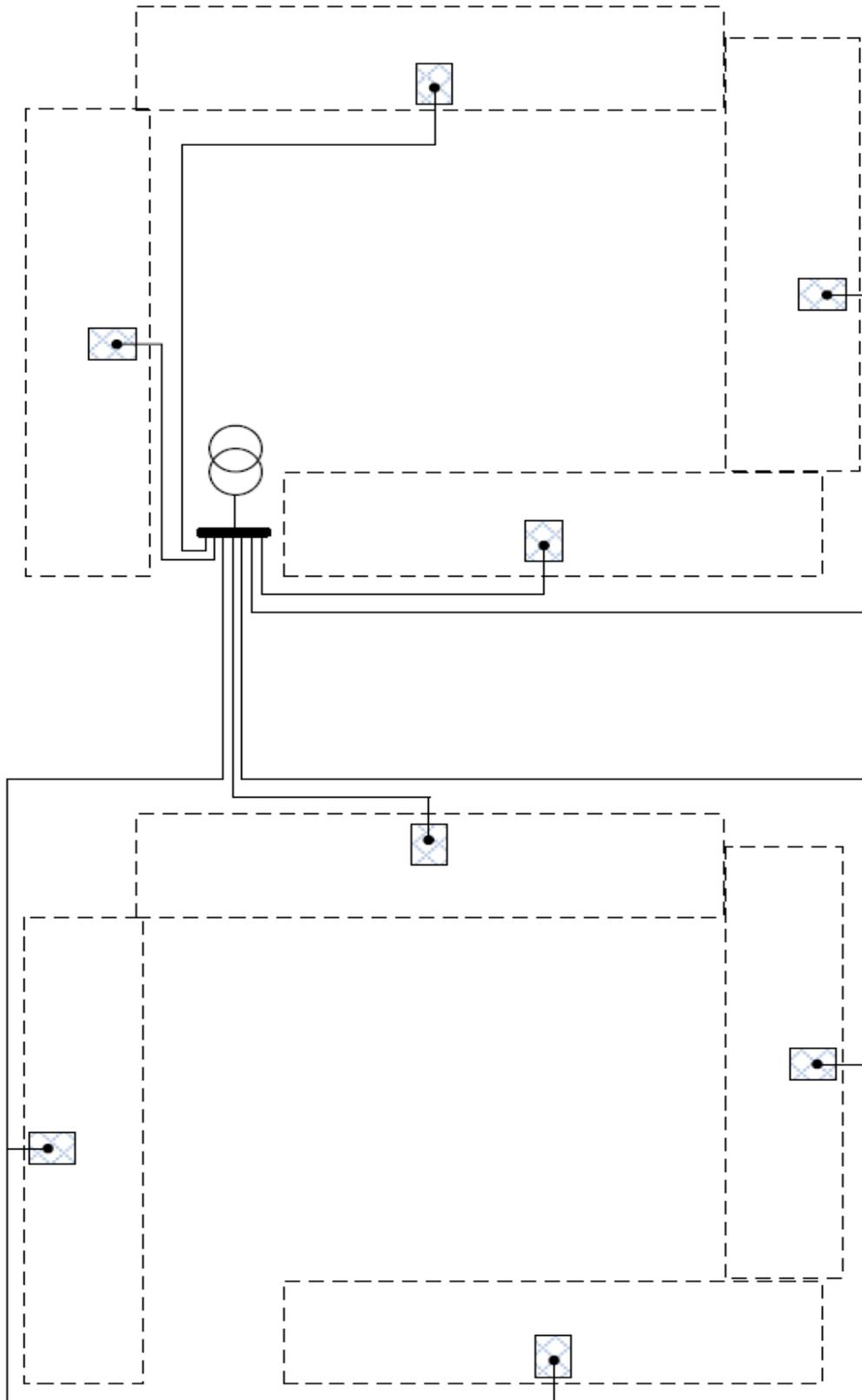


Abbildung 10.8 Exemplarisches Netz [11]

## Exemplarisches Netz 2 für den Siedlungstyp H

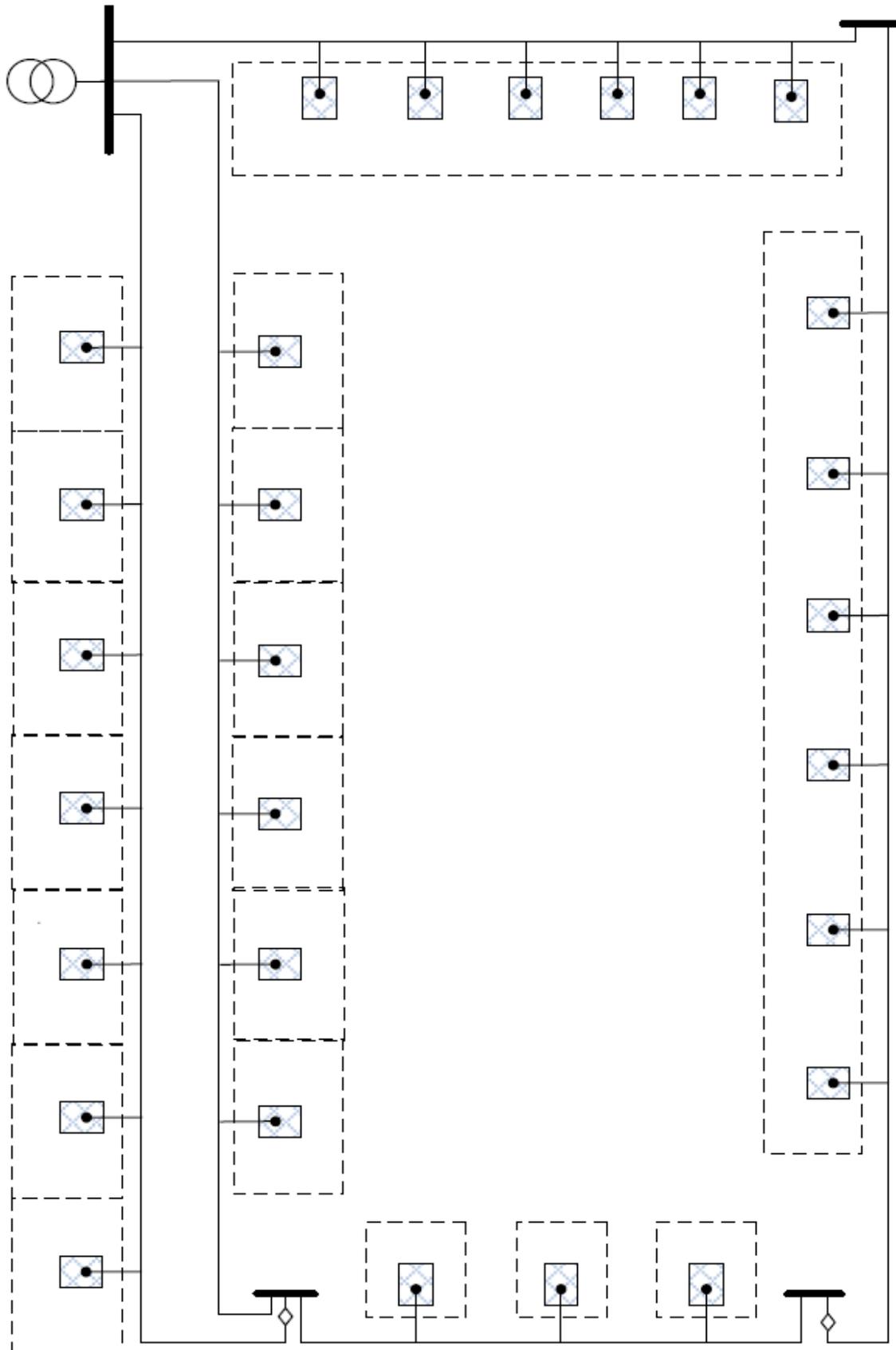


Abbildung 10.10 Exemplarisches Netz [11]

## Exemplarisches Netz 3 für den Siedlungstyp C

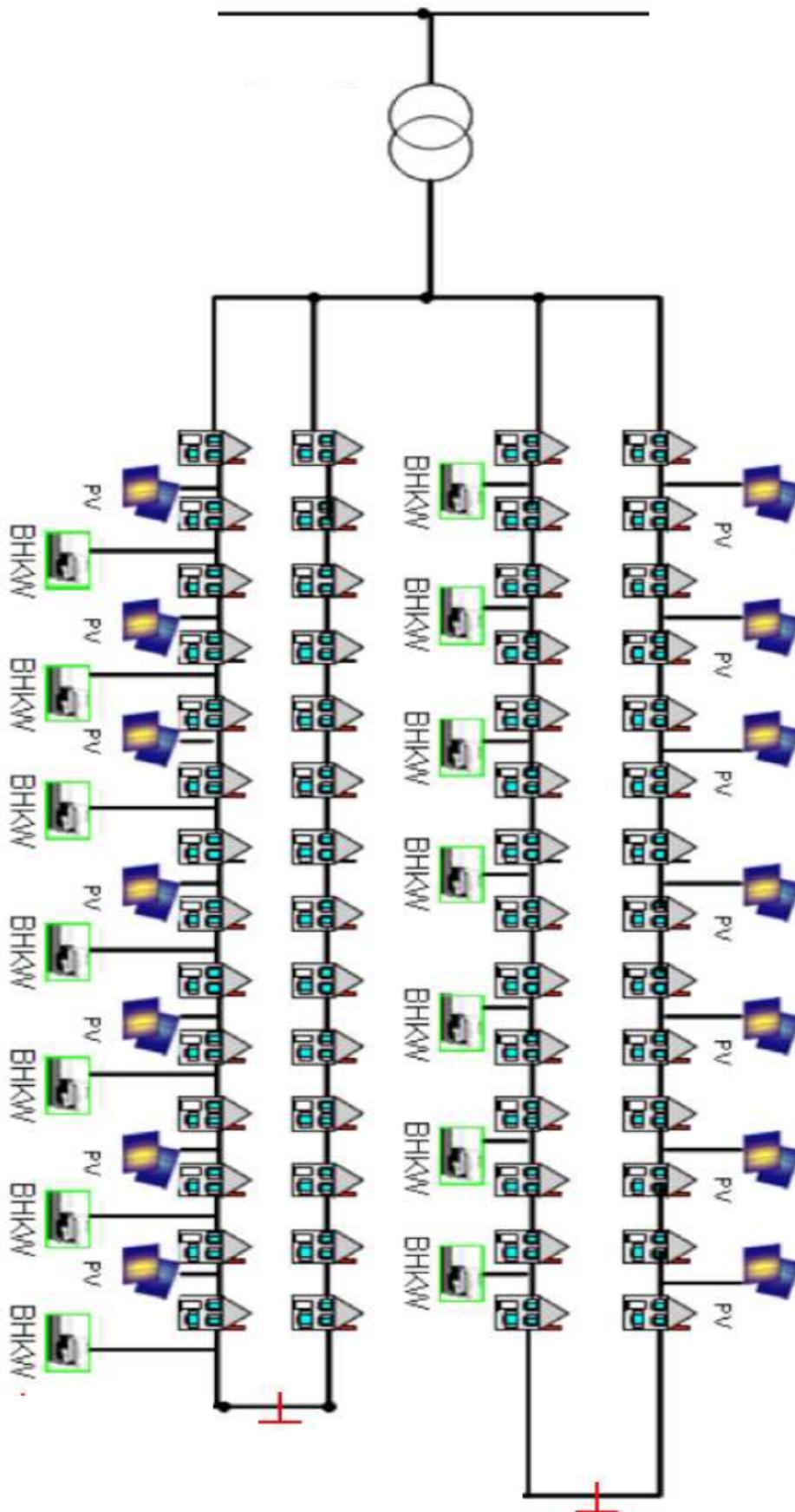


Abbildung 10.11 Exemplarisches Netz [12]

## Quellenverzeichnis

- [1] Kasikci, I. ; Projektierung von Niederspannungsanlagen, Betriebsmittel, Vorschriften, Praxisbeispiele 3. Auflage Hüthig & Pflaum Verlag
- [2] Nagel, H ;Systematische Netzplanung 2. Auflage VDE Verlag
- [3] Schwab, A.J. ;Elektroenergiesysteme Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie Springer Verlag
- [4] Kiank, H.; Fruth, W. Planungsleitfaden für Energieverteilungsanlagen Konzeption, Umsetzung und Betrieb von Industrienetzen Publicis Publishing
- [5] Kerber, G.; Witzmann, R.: Statistische Analyse von NS-Verteilnetzen und Modellierung von Referenznetzen TUM, München, 2008
- [6] Kaufmann, W. ; Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme, VWEW-Verlag, Berlin,1995
- [7] Scheffler, J. ; Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten
- [8] Ueli Roth und Fritz Häubi ; Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen , Zürich
- [9] Noe, H. ; Planungskompodium Energieverteilung Hüthig/Schneider Electric
- [10] Düwall, P. ; Ermittlung der Lastganglinien bei der Benutzung elektrischer Energie durch die bundesdeutschen Haushalte während eines Jahres, VDEW Verlag 1985
- [11] Shaoqing Ying ; Auswirkungen auf die Niederspannungsnetze bei hoher Penetration von innerstädtischen Photovoltaikanlagen und Elektrofahrzeugen
- [12] Wille-Hausmann, B. ; Einsatz der symbolischen Modellreduktion zur Untersuchung der Betriebsführung im Smart Grid
- [13] <http://www.e-formel.info/elektrotechnik/leitungsdimensionierung.html> ; 13.02.2013
- [14] [http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2012/files/lf/LF\\_Esslinger.pdf](http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2012/files/lf/LF_Esslinger.pdf) 13.02.2013 Esslinger, P.; Witzmann, R. ; Entwicklung und Verifikation eines stochastischen Verbraucherlastmodells für Haushalte
- [15] [http://w3.fh-wuerzburg.de/vermessung/Fachgebiete/gis/Publikationen/Heft1\\_Grundbegriffe\\_der\\_elektrischen\\_Energieversorgung.pdf](http://w3.fh-wuerzburg.de/vermessung/Fachgebiete/gis/Publikationen/Heft1_Grundbegriffe_der_elektrischen_Energieversorgung.pdf); 13.02.2013 Grimhardt; Rottenberger; Rusche; Schlegel; Grundbegriffe der elektrischen Energieversorgung
- [16] Google Bilder

[17] Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt; Foto aufnahmen

[18] [http://www.htee.tu-bs.de/forschung/veroeffentlichungen/Dyussebekowa\\_10Symposium\\_energieinnovation.pdf](http://www.htee.tu-bs.de/forschung/veroeffentlichungen/Dyussebekowa_10Symposium_energieinnovation.pdf) 13.02.2013 Dyussebekowa,N.; Kurrat,M.; Waitschat,H; Untersuchung der Lastprofile von Niederspannungsnetzbezirken

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Darstellung eines Netzausschnittes in Neplan [18]	7
Abbildung 1.2 Verteilung elektrischer Energie [16]	8
Abbildung 1.3 Netztopologie in der Niederspannungsebene [16]	9
Abbildung 1.4 Schematische Netzstrukturen von mittelspannungsseitig einstrangig gespeisten Niederspannungsnetzen [7]	10
Abbildung 2.1 Links Öltransformator Rechts GEAFOL-Transformator [15]	12
Abb 2.3 Niederspannungskabel NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> [16]	14
Abbildung 2.4 Hausanschlussmuffen [15]	15
Abbildung 2.5 Hausanschlusskasten [15]	17
Abbildung 2.6 Beanspruchbarkeit der Betriebsmittel	18
Abbildung 3.1 Höchstlasteinteildiagramm für bis zu 150 Haushalte [14]	19
Abbildung 3.2 Standartlastprofil H0 für Haushalte im Winter [14]	20
Abbildung 4.1 Siedlungstyp A [16]	22
Abbildung 4.2 Siedlungstyp B [17]	23
Abbildung 4.3 Siedlungstyp C [17]	24
Abbildung 4.4 Siedlungstyp D [16]	25
Abbildung 4.5 Siedlungstyp E [16]	26
Abbildung 4.6 Siedlungstyp F [16]	27
Abbildung 4.7 Siedlungstyp G [17]	28
Abbildung 4.8 Siedlungstyp H [17]	29
Abbildung 4.9 Siedlungstyp I [16]	30
Abbildung 5.1 Typische Nennleistungen von Stationstransformatoren und deren Hauptwerte (fett Gedruckt) nach Siedlungstypen aufgeteilt [7]	31
Abbildung 5.2 Mittelwerte $\pm$ Standartabweichung der Anzahl der Leitungsabgänge von Netzstationen [7]	32

Abbildung 5.3 Länge der Netzstrahlen für ausgewählte Siedlungstypen [7].....	33
Abbildung 5.4 Länge der Netzstrahlabschnitte für rasterförmig erschlossene Siedlungstypen Mittelwerte $\pm$ Standartabweichung [7].....	33
Abbildung 5.5 Mittelwerte $\pm$ Standartabweichung des Abstandes benachbarter Abzweige von Hausanschlussleitungen[7].....	34
Abbildung 5.6 Wohneinheiten je Hausanschluss[7].....	35
Abbildung 6.1 modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp A.....	37
Tabelle 6.1 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet A.....	37
Abbildung 6.2 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp B.....	38
Tabelle 6.2 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet B.....	38
Abbildung 6.3 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp C.....	39
Tabelle 6.3 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet C.....	39
Abbildung 6.4 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp D.....	40
Tabelle 6.4 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet D.....	40
Abbildung 6.5 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp E.....	41
Tabelle 6.5 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet E.....	41
Abbildung 6.6 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp F.....	42
Tabelle 6.6 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet F.....	42
Abbildung 6.7 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp G.....	43
Tabelle 6.7 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet G.....	43
Abbildung 6.8 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp H.....	44
Tabelle 6.8 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet H.....	44
Abbildung 6.9 Modelliertes Referenznetz für den Siedlungstyp I.....	45
Tabelle 6.9 Parameter und Betriebsmittel für Siedlungsgebiet I.....	45
Abbildung 7.1 exemplarisches Netz nach [7].....	46
Abbildung 7.2 exemplarisches Netz nach [11].....	47
Abbildung 7.3 exemplarisches Netz nach [12].....	48
Tabelle 8.1 Vergleichstabelle für Siedlungstyp B.....	49
Tabelle 8. Vergleichstabelle für Siedlungstyp B.....	49
Tabelle 8.2 Vergleichstabelle für Siedlungstyp C.....	50
Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp C.....	50

---

Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp C.....	51
Tabelle 8.3 Vergleichstabelle für Siedlungstyp D.....	51
Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp D.....	52
Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp D.....	52
Tabelle 8.3 Vergleichstabelle für Siedlungstyp G.....	53
Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp G.....	53
Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp G.....	54
Tabelle 8.4 Vergleichstabelle für Siedlungstyp H.....	54
Abbildung 8.2.1 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp H.....	55
Abbildung 8.2.2 Vergleichsdiagramm für Siedlungstyp H.....	55
Abbildung 10.1 Exemplarisches Netz [7].....	57
Abbildung 10.2 Exemplarisches Netz [7].....	57
Abbildung 10.3 Exemplarisches Netz [7].....	58
Abbildung 10.4 Exemplarisches Netz [7].....	59
Abbildung 10.5 Exemplarisches Netz [7].....	59
Abbildung 10.6 Exemplarisches Netz [11].....	60
Abbildung 10.7 Exemplarisches Netz [11].....	61
Abbildung 10.8 Exemplarisches Netz [11].....	62
Abbildung 10.10 Exemplarisches Netz [11].....	63
Abbildung 10.11 Exemplarisches Netz [12].....	64