

Zuverlässigkeitsanalyse von Fernwärmenetzen¹

(Studie im Auftrag des Fachverbandes der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen Österreichs, durchgeführt im Frühjahr 2006 am Institut für Elektrische Anlagen der technischen Universität Graz.)

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

In den vergangenen Jahrzehnten, insbesondere in den letzten Jahren, ausgelöst durch die massiven Stromausfälle in den USA und auch in Europa, wurde und wird die Zuverlässigkeit der Energieversorgung immer mehr hinterfragt.

Der wachsende technische Fortschritt, steigendes Anspruchsdenken und vor allem die Notwendigkeit, Kosten zu reduzieren, stellt in allen technischen Bereichen immer größer Anforderungen an die Systeme und die Betreiber.

Eine Umfrage im Jahr 2004 zum Thema Fernwärme, die von den Fernwärmeunternehmen Österreichs initiiert wurde, ergab, dass von den Befragten die Versorgung als nicht zuverlässig angesehen wurde.

Der Fachverband Gas-Wärme hat darauf das Institut für Elektrische Anlagen an der Technischen Universität Graz beauftragt, ein Forschungsprojekt zum Thema „*Zuverlässigkeit der Fernwärmeversorgung*“ durchzuführen.

Elektrischen Netze werden laufend auf ihre Zuverlässigkeit untersucht. In Analogie zu diesen Modellen wurde eine Methode entwickelt, mit der auch die Zuverlässigkeit von Fernwärmenetzen analysiert werden kann. Durch den Einsatz von EDV wird zudem die Verwaltung und Pflege von Ausfällen, Fehler- und Schadensstatistiken usw. erleichtert.

Software zur Instandhaltung von Komponenten wird zunehmend in der Wartungsplanung von Betriebsmitteln verwendet, wobei hier über die Lebensdauer genaue Daten erforderlich sind.

Moderne Anlagen und besonders Anlagen für die Energieversorgung sind aus vielen Bausteinen mit unterschiedlicher Abhängigkeit (Komplexität) aufgebaut. Während bei der einfachen Technik früherer Jahrhunderte eine hohe Zuverlässigkeit durch Einfachheit und hohe

¹ Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert, Leiter Institut für elektrische Anlagen, TU Graz

Claus Mattausch, Diplomand am Institut für Elektrische Anlagen, TU Graz

Dipl.-Ing Josef Füreder, Vorsitzender Arbeitskreis Vertrieb, Fachverband Gas-Wärme Österreichs

Materialreserven erzielt wurde, kann bei heutigen komplexen Produkten eine hohe Zuverlässigkeit unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte nur durch ein gutes Konzept, durch hohe Qualität der eingesetzten Bausteine und durch eine wohldurchdachte Systemstruktur erreicht werden.

1.2 Zuverlässigkeit – eine wesentliche Forderung

Entsprechend dem Vertrauen des Kunden nach sicherer, das heißt zuverlässiger und preiswerter Energie stellt die Zuverlässigkeit eine wesentliche Forderung bei der Planung und dem Betrieb von Fernwärmenetzen dar. Zuverlässigkeit ist nach DIN 40041 definiert als *„Die Fähigkeit einer Betrachtungseinheit, das heißt einer Komponente oder eines Systems, die beabsichtigte Funktion unter festgelegten Bedingungen zu erfüllen“*.

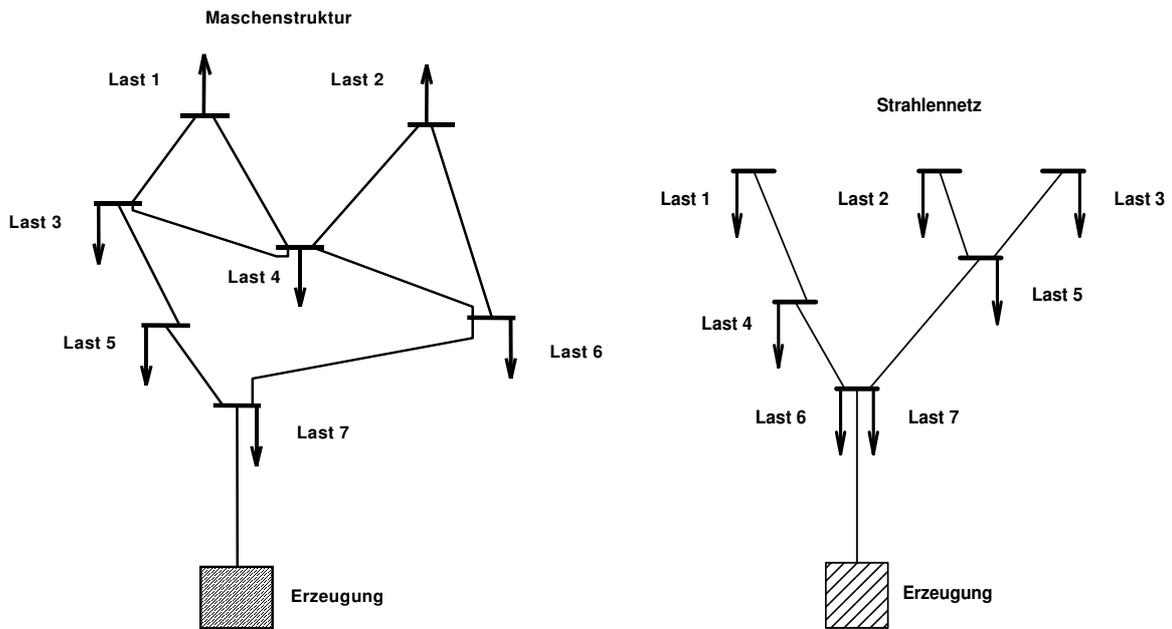
In der Vergangenheit und auch heute werden qualitative Kriterien zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von Energieversorgungssystemen eingesetzt. Diese liefern nach Vorgabe signifikanter Störfälle "Ja-Nein" Aussagen über die Einhaltung von Mindestforderungen.

In der Netzplanung von elektrischen Energieversorgungssystemen hat sich das so genannte (n-1)-Kriterium bewährt. Es besagt, dass elektrische Übertragungsnetze als hinreichend zuverlässig anzusehen sind, wenn der Ausfall eines beliebigen Betriebsmittels nicht zu einem unzulässigen Netzzustand führt und es zu keiner Überlastung der verbleibenden Komponenten kommt. Bedingt durch den oftmals großen Ermessensspielraum dieser qualitativen Aussagen in der Netzplanung wurden Verfahren zur quantitativen Zuverlässigkeitsanalyse auf Basis probabilistischer Methoden entwickelt, die zunehmend in der Praxis eingesetzt werden. Diese dienen als zusätzliche objektive Entscheidungshilfe beim Zuverlässigkeitsnachweis, Variantenvergleich oder der Schwachstellenanalyse.

(Im Kraftwerkssektor haben sich probabilistische Verfahren mit quantitativen Aussagen neben bewährten qualitativen Kriterien schon seit vielen Jahren zur Reserveplanung etabliert.)

Die den oben beschriebenen Entwicklungen zugrunde liegende Aufteilung des komplexen Energieversorgungssystems wird durch den hohen Modellierungs- und Rechenaufwand der probabilistischen Verfahren notwendig. Für den Verbraucher ist letztendlich allein die resultierende Gesamt-Versorgungszuverlässigkeit von Bedeutung, die sich aus der Zuverlässigkeit der einzelnen Teilsysteme sowie deren Kopplungen ergibt.

Die Struktur von Fernwärmenetzen ist als Folge von Quelle – Verteilung – Senke zu sehen. Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Beispiele für übliche Netztopologien:



1.2 Gegenüberstellung der Bewertungsmöglichkeiten der Zuverlässigkeit

Neben dem klassischen (n-1)-Kriterium kommen heute auch Methoden zur Zuverlässigkeitsanalyse, die die Wahrscheinlichkeit berücksichtigen, zur Anwendung.

- **Das (n-1)-Kriterium**

Ein Energienetz erfüllt das (n-1)-Kriterium, wenn ein beliebiges Betriebsmittel (Leitung, Wärmetauscher, Pumpe, etc.) ausfallen kann, ohne dass es zu unzulässigen Versorgungsschwierigkeiten kommt und ohne dass es zu einer Ausweitung der Störung führt, oder die zulässigen Grenzen für Betriebsmittel überschritten bzw. die verbleibenden Elemente überlastet werden.

Das (n-1)-Kriterium ist langjährig weltweit bewährt, einfach handhabbar. Es ist kein zusätzlicher Datenbedarf nötig. Es ist außerdem an Dritte leicht vermittelbar und bringt eine formale Gleichbehandlung aller Kunden.

- **Die probabilistische Zuverlässigkeitsanalyse**

Die probabilistische, also die Wahrscheinlichkeit berücksichtigende Zuverlässigkeitsberechnung und -analyse, stellt eine erhebliche Erweiterung und Automatisierung der auf der (n-1)-basierenden Ausfallrechnung zur Bewertung der Versorgungszuverlässigkeit dar. Es ermöglicht die Quantifizierung, Reihung von Varianten und monetäre Bewertung der Unzuverlässigkeit und gibt eine kundenbezogene, differenzierte Aussage und objektive Bewertung. Die aufwendige Modellierung und Berechnung (hoher Rechenaufwand) führt zu einer erforderlichen

Ergebnisinterpretation, einer fallspezifische Auswahl der Bewertungskriterien und einer Definition des erforderlichen Maßes an Zuverlässigkeit.

2 Gegenüberstellung der Bedeutung der wichtigsten Elemente

Elektrische Netze und Fernwärme-Netze haben nicht nur in der Topologie Ähnlichkeiten, auch bei den Betriebsmitteln sowie bei Vorkommnissen im Störfall können viele Gemeinsamkeiten klassifiziert werden.

2.1 Größen-Analogien

Beide Energietransporte sind leitungsgebunden. Bei Fernwärme wird darüber hinaus ein Massenfluss zum Energietransport benötigt. Dadurch müssen die geographischen Höhen der Anlagenteile berücksichtigt werden.

Elektrizitätsversorgung	Fernwärmeversorgung
Strom I	Durchfluss \dot{m}
Spannung U	Temperaturdifferenz ΔT
Leistung $P=U \cdot I \cdot \cos \varphi$	Leistung $P = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$
Knotenregel	Kontinuitätsgleichung

Tabelle 2-1: Analogien aus der Physik

2.2 Struktur-Analogien zwischen den Netzen

Da die Energie über Leitungen - Freileitungen oder Kabel (bei elektrischen Netzen) bzw. Rohrleitungen (bei Fernwärmenetzen) - transportiert wird, treten im Fehlerfall auch gleiche Probleme auf. Bei Kabeln ist unter anderem die schlechte Erreichbarkeit des Fehlerortes (wie auch bei erdverlegten Fernwärmeleitungen), bei Freileitungen die Exponiertheit der Teile zu erwähnen.

Elektrizitätsversorgung	Fernwärmeversorgung
Leitung (Kabel, Freileitung)	Rohrleitung (Freileitung, Stahl-,Kunststoff-mantelrohre, flexible Rohre)
Leistungsschalter	Absperrorgan
Längsdrossel	Regelventil
Muffe	Schweißnaht
T-Muffe	Abzweiger
Generator + Blocktrafo	Pumpe + Wärmetauscher
Durchhang	Kompensatoren in Schachtbauwerken
Lastflussberechnung	Hydraulische Rohrnetzberechnung

Tabelle 2-2: Analogien zwischen den Netzen

2.3 Analogien bei Vorkommnissen, Fehlern

Auch hier sind Analogien leicht zu erkennen. Beide Energietransfers sind empfindlich bezüglich Beschädigungen (z.B. durch Erdgrabungsarbeiten, Sabotage etc.) Die elektrische Freileitung ist zudem noch blitzschlaggefährdet.

Leckagen bei Fernwärme liegen im Bereich von einigen Liter pro Tag in kleinen Netzen bis zu einigen Tausend Liter pro Tag in großen Netzen. Diese Volumens- und Druckverluste werden durch die Druckhaltungs- und Nachfüleinrichtungen ausgeglichen.

Elektrizitätsversorgung	Fernwärmeversorgung
Kurzschluss	Geplatzttes Rohr
Erdschluss	Rohrriss
Generatorausfall	Wärmeerzeugerausfall
Blocktrafoausfall	Pumpenausfall
Einsatz eines Notstromaggregates	Einsatz eines Heizaggregates
Leckströme (Koronaentladungen)	Leckagen

Tabelle 2-3: Analogien bei Vorkommnissen, Fehlern

2.4 Analogien bei Verlusten

Hier sind ebenfalls Ähnlichkeiten abzuleiten. Beide Netzsysteme müssen so dimensioniert sein, dass Verluste niedrig bleiben und das Netz wirtschaftlich betrieben werden kann. Bei Fernwärmenetzen kommen neben den thermischen Verlusten noch die hydraulischen Druckverluste dazu.

Elektrizitätsversorgung	Fernwärmeversorgung
Ohmsche Verluste	Verluste durch Wärmeleitung, Strahlung
Eisenverluste	Abstrahlverluste im Wärmetauscher

Tabelle 2-4: Analogien bei Verlusten

3 Grundlagen der Zuverlässigkeitsanalyse

3.1 Exponentialverteilung

Die Lebensdauer eines Elements beeinflusst das Ausfallsverhalten der Übertragungskette. Die wichtigste Verteilung für die Zuverlässigkeitsberechnung ist die Weibull-Verteilung. Eine wichtige Verteilung bei Lebensdauerbetrachtungen von stetigen technischen Systemen ist die Exponentialverteilung. Sie behandelt Probleme mit konstanter Ausfallsrate, d.h. die Wahrscheinlichkeit der Funktionsfähigkeit einer technischen Anlage nimmt mit zunehmender Betriebsdauer exponentiell ab. Als Zufallsvariable wird die Betriebsdauer T eingeführt.

3.2 Internationale Kenngrößen der Zuverlässigkeitsanalyse

Die folgenden Kenngrößen wurden in Expertengruppen der elektrischen Energieversorgung erarbeitet und machen Vergleiche leichter möglich. Sie sind in der IEEE 1366 erläutert und beziehen sich auf die Auswertung mit den betroffenen Kunden.

- **Nichtverfügbarkeit = Unterbrechungswahrscheinlichkeit**

Internationale Kenngröße:

SAIDI (**S**ystem **A**verage **I**nterruption **D**uration **I**ndex)

Entsprechende deutschsprachige Kenngröße: Mittlere jährliche Unterbrechungsdauer (Einheit: min/a), Unterbrechungs-/Defizitwahrscheinlichkeit Pr_D , Nichtverfügbarkeit Q oder Q_u

Diese Kenngröße gibt an: „Wie viele Minuten im Jahr ist ein Kunde durchschnittlich nicht versorgt“

$$SAIDI = \frac{\sum_k N_k \cdot D_k}{N_{total}} = SAIFI * CAIDI$$

mit N_k = Anzahl der unterbrochenen Kunden

D_k = Dauer der Unterbrechung

Der Wert SAIDI ist also ein Produkt der zwei weiteren Zuverlässigkeitskennwerten:

- **Erwartungswert einer Unterbrechung:**

– SAIFI (**S**ystem **A**verage **I**nterruption **F**requency **I**ndex)

entsprechende deutschsprachige Kenngrößen: Häufigkeit von Versorgungsunterbrechungen H_U , Unterbrechungs-/Defizithäufigkeit H_D . Hier ist sie meist auf das System bezogen.

Die Kenngröße SAIFI gibt an: „Wie oft ist ein Kunde/ein Netz pro Jahr von Ausfällen betroffen?“ Hieraus kann die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterbrechung abgeleitet werden.

$$SAIFI = \frac{\sum_k N_k}{N_{total}} \quad \text{mit } N_k = \text{Anzahl der unterbrochenen Kunden}$$

- **Unterbrechungsdauer**

CAIDI (**C**ustomer **A**verage **I**nterruption **D**uration **I**ndex)

Entsprechende deutschsprachige Kenngröße: Mittlere Dauer einer Versorgungsunterbrechung (Einheit: min) T_U , Unterbrechungs-/Defizitdauer T_D . Diese Kenngröße gibt an:

„Wie lange dauert es im Mittel, bis ein Kunde nach einem Ausfall wieder versorgt ist?“

$$CAIDI = \frac{\sum_k N_k \cdot D_k}{\sum_k N_k}$$

mit N_k = Anzahl der unterbrochenen Kunden

D_k = Dauer der Unterbrechung

3.3 Beispiel zur Berechnung von Zuverlässigkeitskennzahlen:

Die Abbildung 3-1 zeigt ein Beispiel zur Berechnung der Zuverlässigkeitskennwerte.

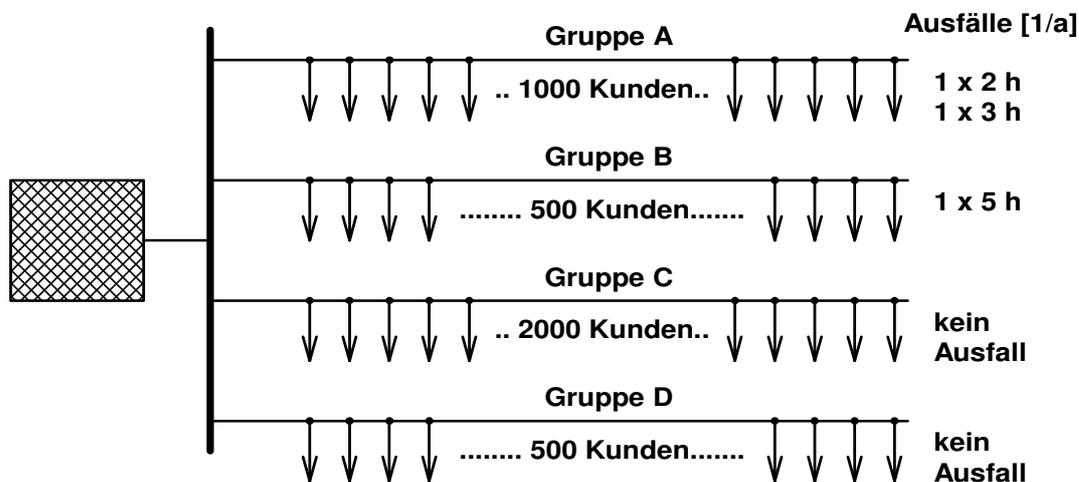


Abbildung 3-1: Beispiel zu Zuverlässigkeitsberechnung

Berechnung der Zuverlässigkeitskennzahlen für das obige Beispiel:

Wenn in diesem Energieversorgungssystem mit insgesamt 4000 Kunden (N_{total}) eine Kundengruppe (A) zweimal im Jahr für jeweils 2 bzw. 3 Stunden und eine weitere Gruppe (B) einmal für 5 Stunden ausfällt, so ergeben sich die Zuverlässigkeitskennzahlen (Bezugsgröße: alle Kunden) wie folgt:

$$SAIFI = \frac{1000 + 1000 + 500}{4000} = 0,625 \text{ Ausfälle pro Jahr}$$

$$CAIDI = \frac{1000 \cdot 2 + 1000 \cdot 3 + 500 \cdot 5}{1000 + 1000 + 500} = 3 \text{ h/a}$$

$$SAIDI = \frac{1000 \cdot 2 + 1000 \cdot 3 + 500 \cdot 5}{4000} = 1,875 \text{ h/a}$$

$$Q = H_u \cdot T_u \quad \text{bzw.}$$

$$SAIDI = SAIFI. CAIDI = 0,625 \cdot 3 = 1,875 \text{ h/a}$$

4 Datenerhebung

4.1 Allgemeines

Um an aktuelle Daten zu gelangen, wurde ein entsprechender Fragebogen (vier Jahre Betrachtungszeitraum) erstellt und an die Mitglieder des Fachverbandes Gas-Wärme gesendet. Diese Ergebnisse wurden mit der Netzschadensstatistik des Fachverbandes Gas-Wärme Österreichs, der im Arbeitskreis Verteilung jährlich erstellt wird, abgeglichen.

4.2 Ausfallsdaten

Die Aufbringungssicherheit des Brennstoffs wird als gegeben angenommen. Die spezifische Ausfallsrate H_u wird in der Tabelle für die Rohre pro Jahr und 100 km Trassenlänge angegeben, damit diese mit den Zahlen anderer Energienetze, z.B. elektrischen Energieversorgungsnetzen, leichter vergleichbar sind.

Element	H_u [1/a]	T_u [h]
KWK Wärmeerzeugung	0,717	< 1,000
Heizkessel Wärmeerzeugung	0,293	1,325
weitere Einspeisung	0	0,3
Pumpe	0,059	0,863
BR DN > 20 mm	26,93	3,75
DN < 25 mm	38,71	5,25
DN 25 - 80 mm	11,88	8
DN 100 - 200 mm	5,79	8
DN 250 - 350 mm	0,873	7,5
DN > 400 mm	0	
Abzweiger	0,003	7
Absperrorgan	0,008	8,5
Schweißnaht	0	7
Muffe	k.A.	
Kompensator	0	3
Rohrbündelwärmetauscher	0,004	4,6
Plattenwärmetauscher	0,007	3,58

Tabelle 4-1: Zuverlässigkeitsdaten für Elemente eines FW-Netzes

4.3 Speicherkapazität eines FW-Netzes:

Fernwärmenetze - können im Gegensatz zu elektrischen Netzen - Energie speichern. Dadurch und durch die thermische Trägheit der versorgten Gebäude bleiben kurze Unterbrechungen (bis zu einer halben Stunde) im Wärmefluss für den Kunden unbemerkt.

Bei großen Netzen ist auch überdies eine entsprechende große Menge Wasser im Umlauf. Sie erhöht die Unempfindlichkeit der Wärmeversorgung bei kurzen Unterbrechungen der Wärmeerzeugung zusätzlich.

Im Vergleich dazu ist die Energiespeicherkapazität eines elektrischen Netzes bei weitem nicht in diesem Umfang gegeben. Die elektrischen Erzeuger haben eine Zeitkonstante von ca. 5 Sekunden (entspricht der Schwungmasse der Maschinen) bis im Zuge einer Großstörung das Netz zusammengebrochen ist.

5 Modellierung zweier Fernwärmenetze

5.1 Aufgabenstellung

Mit Hilfe des Programms NEPLAN der Firma BCP, Busarello+Cott+Partner, Zürich, das in der E-Wirtschaft weitgehend als Standardprogramm für die Zuverlässigkeitsanalyse und andere Netzberechnungen eingesetzt wird, werden zwei Fernwärmenetze modelliert und bezüglich ihrer Zuverlässigkeit untersucht:

- Ein kleines Netz (Biomasseanlage), ca. 150 Kunden, Trassenlänge 3,5 km
- Ein großes Netz, ca. 32000 Kunden, Trassenlänge 550 km

5.2 Untersuchungen eines kleinen Fernwärmenetzes

Als Lasten werden Heizleistungen zwischen 10 und 430 kW modelliert, die nach den Netzdaten verteilt worden sind. Die Modellierung des Netzes mit vollständiger Redundanz bei der Erzeugung ergibt folgende Mittelwerte der Ergebnisse:

	H_u [1/a]	T_u [h]	Q [min/a]
Mittelwert	0,125	4,02	31,0

Abbildung 5-1: Ergebnisse bei Redundanz in der Erzeugung

Das heißt, alle 8 Jahre ist durchschnittlich mit einem Ausfall zu rechnen, der dann ca. 4 Stunden dauert. Die Nichtverfügbarkeit (SAIDI) beträgt 31 Minuten pro Jahr.

Ist beispielsweise nur ein Wärmereizger vorhanden, so steigt die Ausfallsrate auf 0,417 1/a.

	H _u [1/a]	T _u [h]	Q [min/a]
Mittelwert	0,417	2,15	54,3

Abbildung 5-2: Ergebnisse bei nur einer Erzeugungseinheit

Hier ist durchschnittlich alle 2,4 Jahre ein Ausfall zu registrieren, der im Durchschnitt ca. 2 Stunden dauert. Die rechnerische Nichtverfügbarkeit dauert 54 Minuten pro Jahr.

5.3 Untersuchungen an einem großen Netz:

Die Netzlänge beträgt ca. 550 km Trassenlänge. Es gibt 5 Einspeisestellen.

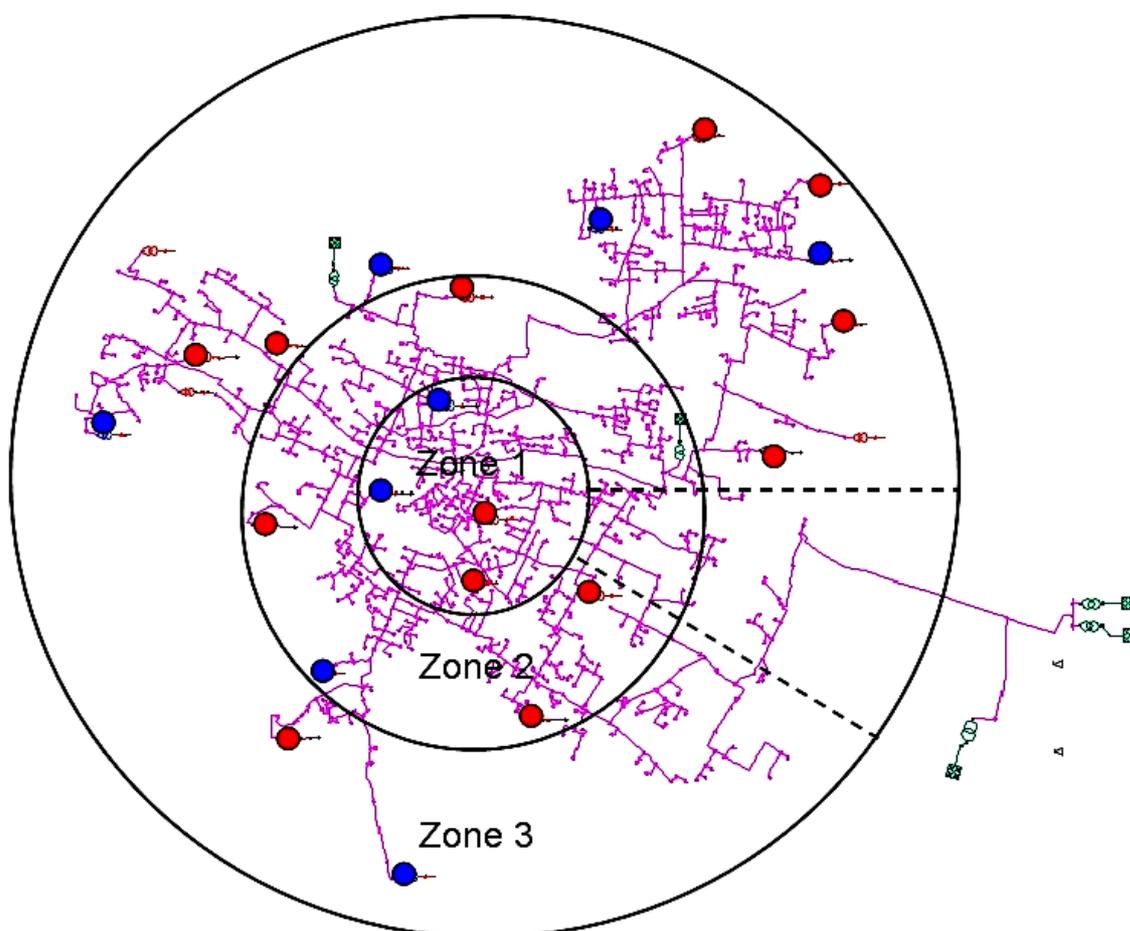


Abbildung 5-3: Trassenplan des großen Netzes

Um die Zuverlässigkeit leichter näherungsweise bestimmen zu können, wird das Netz in drei Zonen eingeteilt, in denen willkürlich Kunden eingefügt werden. Die roten und blauen Punkte in der Grafik zeigen die Position dieser Kundenanlagen im Netz, wobei blau eine mit einem

Rohrbündelwärmetauscher, rot eine mit einem Plattenwärmetauscher symbolisiert. Die Kreise markieren die Zoneneinteilung für die einzelnen Kundenanlagen

In Zone 1 werden 4 Kunden willkürlich, in Zone 2 (etwas außerhalb des Zentrums) werden 5 Kunden willkürlich ausgewählt. Zone 3 (Außenring) deckt die Peripherie ab und enthält die meisten Kundenanlagen. Es wurden 12 Anlagen gewählt. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle (Mittelwerte):

Bereich	H_u [1/a]	T_u [h]	Q [min/a]
Zone 1	0,025	6,03	10,5
Zone 2	0,052	7,09	23,7
Zone 3	0,095	7,41	43,1

Tabelle 5-1: Mittelwerte für die Zonen

Genauigkeitsergebnis durch detaillierte Zoneneinteilung:

Die Nichtverfügbarkeit Q als üblicherweise betrachtete Zuverlässigkeitskenngröße wird nun näher untersucht. Der Fehler durch die Zoneneinteilung, die willkürlich in Größe und Form angenommen wurde und bei der man vorher nicht sagen kann, welchen Wert die Ausfallraten und -dauern haben werden, lässt sich bei einem Vergleich der Mittelwerte mit den Minima und Maxima der Zonenwerte ungefähr bestimmen. Folgende Tabelle vergleicht die Werte der durchschnittlichen Ausfalldauern der drei Zonen:

Bereich	Mittelwert Q [min/a]	Minimum Q [min/a]	Maximum Q [min/a]	Standardabw. von Q [min/a]	rel. Fehler bez. Min.	rel. Fehler bez. Max.
Zone 1	10,5	2,3	31,7	14,2	358%	-67%
Zone 2	23,7	2,3	45,0	17,5	938%	-47%
Zone 3	43,1	31,7	103,6	30,4	36%	-58%

Tabelle 5-2: Fehlerabschätzung für die verschiedenen Zonen

Die Ausfallraten H_u der einzelnen Kunden in den drei Zonen (nach absteigender Größe) sind in Abbildung 5-4 dargestellt. Die Ausfalldauer T_u zeigt die Abbildung 5-5.

Aus diesen kann die jährliche Nichtverfügbarkeit Q (Produkt der mittleren Ausfalldauer T_u) berechnet werden. Abbildung 5-6 zeigt die Daten der drei Zonen.

Hu für die 3 Zonen

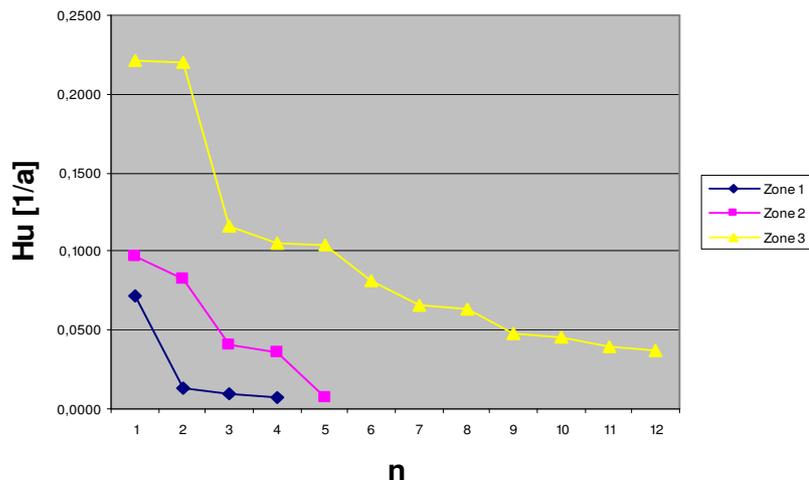


Abbildung 5-4: Die Ausfallsrate H_u in den 3 Zonen

Tu für die 3 Zonen

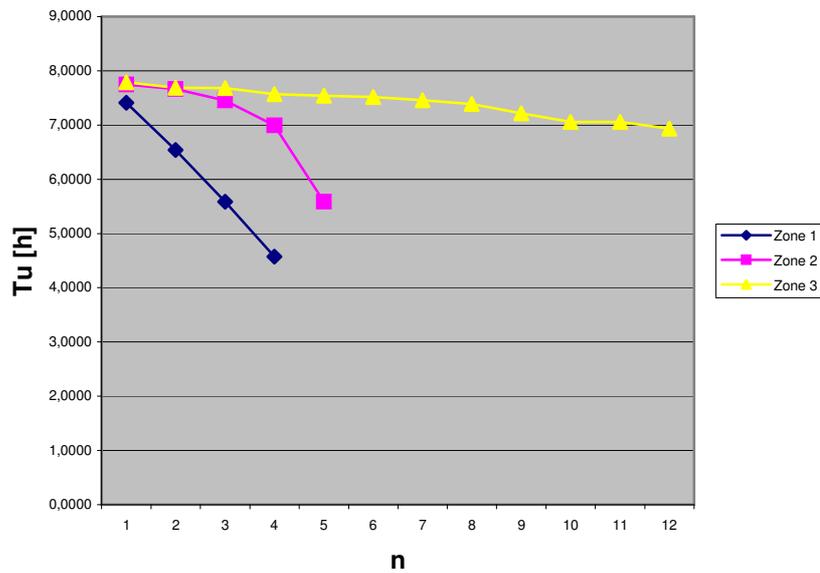


Abbildung 5-5: Die Ausfalldauer T_u in den 3 Zonen

Q für die drei Zonen

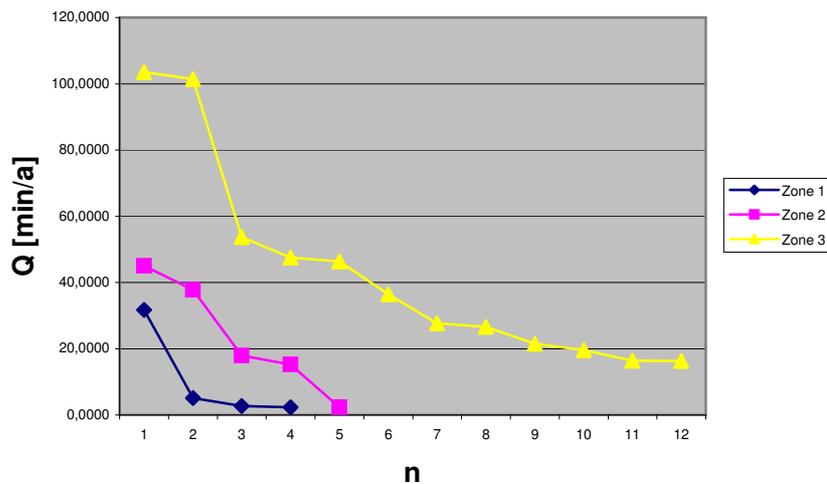


Abbildung 5-6: Die Nichtverfügbarkeit Q in den 3 Zonen

Daraus ist wegen der etwa gleichbleibenden Reparaturdauern ein linearer Zusammenhang zwischen der Ausfallsrate und der jährlichen Nichtverfügbarkeit für die Kunden zu erkennen.

Unter der Annahme, dass die Nichtverfügbarkeit Q in Zone 1 (Zentrum) dem Grundwert (f_0) entspricht, so kann man mittels einer Differenzgleichung (linearer Ansatz) diese Werte für die anderen Zonen näherungsweise bestimmt werden:

Für die Ausfallsdauer Q (SAIDI) gilt:

$$Q = SAIDI = \frac{\sum N_k * D_k}{N_{total}} = f(Zone, n_{Zone}, N_k, D_k) = f_0 + \frac{\partial f}{\partial Zone} * \Delta Zone$$

Mit dem Startwert $f_0 = 10,5$ (für Zone 1) ergibt sich

$$\frac{\partial f}{\partial Zone} = \frac{43,1 - 10,5}{2} = 16,3 \quad \text{min/a} \quad \text{mit } \partial Zone = 2$$

Damit ergibt sich eine Näherung für den prognostizierten Mittelwert der Zone 2:

$$10,5 + 16,3 * 1 = 26,8 \quad \text{min/a für die Zone 2.}$$

Der Mittelwert der Berechnung beträgt 23,7 für die Zone 2. (Somit tritt bei dieser Näherung ein Fehler von 13% auf.) Das heißt, dass die Unterteilung (statt einer Zone drei Zonen) die Ausfalls-Kennzahlen H_u oder T_u um 13% beeinflusst. Diese Vorgangsweise wird für eine erste Abschätzung meistens als ausreichend erachtet werden.

6 Zusammenfassung

Moderne Energiesysteme werden heute viel stärker ausgenutzt. Hohe Materialreserven und Redundanzen früherer Tage sind auf Grund der Wettbewerbssituation nicht mehr möglich. Zudem steigen die Anforderungen an die Systeme laufend.

Dadurch steigt die Bedeutung der Zuverlässigkeit enorm und Daten über die Lebensdauer der einzelnen Elemente werden wesentlich wichtiger. Die Zuverlässigkeit wird immer öfter mit probabilistischen Verfahren analysiert, auch wenn das (n-1)-Kriterium noch immer eine Möglichkeit zur Abschätzung im Störfall bietet.

Die vorliegende Arbeit zeigt eine Methode, weiterentwickelt aus einer bewährten Systematik in der E-Wirtschaft, mit der Fernwärmenetze schnell auf ihre Zuverlässigkeit analysiert werden können.

Die Analyse von zwei konkreten Netzen zeigt, dass die Meinung, die Fernwärme sei unzuverlässig, nicht nachvollzogen werden kann. Im Gegenteil, die Studie zeigt, dass Fernwärmenetze sehr zuverlässig sind.

Zur inhärenten Sicherheit der Fernwärmenetzanlagen kommt als weiterer Aspekt, dass bei der Fernwärme im Gegensatz zu elektrische Netzen Energie direkt im Netz gespeichert werden kann.

Nicht untersucht wurde die Aufbringungssicherheit des Brennstoffs und die Stromversorgung bei der Wärmeerzeugung. Sie wird als gegeben angenommen.

Im Gegensatz zu der hohen Verfügbarkeit der Fernwärmenetze muss auf die Zuverlässigkeit der Erzeugung großer Wert gelegt werden. Hier sollte sie durch entsprechende Redundanz noch weiter erhöht werden.

7 Verwendete und weiterführende Literatur

- [1] Mattausch, C.: Zuverlässigkeitsanalyse von Fernwärmenetzen, Diplomarbeit am Institut für elektrische Anlagen, TU Graz, 2006
- [2] Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, R.: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Industrieverlag, München, 2005
- [3] Sakulin, M., Renner, H.; Spannungsqualität und Versorgungssicherheit, Vorlesungsskriptum, TU Graz, 2006
- [4] Fickert, L.: Risikomanagement, Teil 2 (Risikomanagement in elektrische Energiesystemen), Vorlesungsskriptum, TU Graz, 2006
- [5] NEPLAN User Guide Reliability Analysis, Version 5, Busarello, Cott und Partner INC., Schweiz 2005