

# Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen

Walter Winter\*, Thomas Haslauer\*\*, Ingwald Obernberger\* \*\*

\*Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik,  
Technische Universität Graz, Inffeldgasse 25, 8010 Graz, Österreich

\*\* Ingenieurbüro BIOS, 8010 Graz, Sandgasse 47, Österreich

## 1. Kurzfassung

Aufgrund der zeitlichen Streuung der individuellen Leistungsspitzen in Nahwärmenetzen, kommt es zu einer Verringerung der maximalen Gesamtleistungsanforderung des Netzes gegenüber der Summe der nominellen Nennleistungen der Einzelabnehmer. Dieser als Gleichzeitigkeit bezeichnete Effekt, stellte eine wesentliche Basisgröße für die Dimensionierung des Wärmeverteilnetzes, sowie der Wärmeerzeugungsanlagen in kleineren und mittleren Nahwärmesystemen dar. In einer umfangreichen Auswertung von Betriebsdaten zweier österreichischer Nahwärmenetze mit insgesamt 559 Abnehmern wurde das Gleichzeitigkeitsverhalten in Abhängigkeit der Anzahl der versorgten Abnehmer untersucht.

## 2. Abstract

The maximum thermal power demand in a district heating system is lower than the sum of the individual nominal power of its heat customers. This effect is known as simultaneity and is caused by the temporal spreading of the customers' individual heat demand. It is described by the simultaneity factor, which is a major parameter for the correct design of the pipe network and the district heating plant of small and medium-sized district heating systems.

With regard to the empirical character of the simultaneity factor, an extensive investigation was performed in two Austrian district heating systems. The operational data of 559 customer substations were collected for a time period of approx. 1.5 years and subsequently evaluated. Based on these data the simultaneity factor for different group sizes (2 to 200 clients) was determined.

The resulting trend showed the simultaneity factor to decrease with an increasing group size. For groups with more than 200 members the simultaneity factor seems to level off at approx. 0.47. For application in calculation programs an approximating equation for the simultaneity factor regarding group sizes with less than 200 members was suggested.

## 3. Einleitung

Von wesentlichem Interesse für eine korrekte Dimensionierung von Wärmeerzeuger, sowie für die Auslegung des Wärmeverteilnetzes ist die Kenntnis der maximal erforderlichen Wärmeleistung in einem Versorgungsgebiet.

Aufgrund des individuellen Verlaufes der Leistungsanforderung der einzelnen Abnehmer kommt es zu einer zeitlichen Streuung der Leistungsspitzen. Durch diesen Effekt verringert sich die tatsächlich erforderliche Gesamtheizleistung gegenüber der Summe der individuellen Maximalleistungen. Durchgeführte Untersuchungen zeigten weiters, dass die Differenz zwischen der tatsächlich erforderlichen Wärmeleistung ab Heizwerk bzw. Heizkraftwerk und der Summe der individuellen Maximalleistungen (Nennleistung der Fernwärmekunden) mit steigender Anzahl von Abnehmern zunimmt. Dieser Effekt wird als *Gleichzeitigkeit* bezeichnet.

Zur Bestimmung der Nennleistung eines Wärmeabnehmers stehen von Normvorschriften [9], [4] in Verbindung mit eingehenden Wärmebedarfserhebungen bis hin zu bauphysikalischen Computermodellen [5] eine breite Palette von Methoden zur Verfügung.

Vollkommen anders stellt sich die Situation für die Abschätzung der Gleichzeitigkeit dar. Während es vereinzelte Ansätze zur Ermittlung des Gleichzeitigkeitsfaktors für gesamte Wärmeversorgungsgebiete (Mannheim) [13] oder für den Gleichzeitigkeitsfaktor von Warmwasserbereitstellungsanlagen [12] gibt, sind den Autoren derzeit keine detaillierte Untersuchungen über den Gleichzeitigkeitsfaktor in kleineren und mittleren Nahwärmenetzen bekannt.

Aufgrund der empirischen Natur der Gleichzeitigkeit und der damit verbundenen Notwendigkeit zur Ermittlung von Messdaten der Wärmeübergabestationen, waren bislang detaillierte Untersuchungen nicht möglich. Mit der Datenanbindung der Wärmeübergabestationen der Abnehmer an einen zentralen Heizwerksrechner, welche erst seit einigen Jahren für Nahwärmemetze (Abnehmernennanschlussleistung bis ca. 20 MW) wirtschaftlich vertretbar bzw. technisch machbar ist, und der laufenden Aufzeichnung der Abnahmeparameter der einzelnen Wärmekunden (Leistung, Durchfluss, Temperaturen, etc.), können derartige Untersuchungen durchgeführt werden.

## **4. Zielsetzung**

Auf Basis umfangreichen Datenmaterials aus 2 österreichischen Biomasse-Nahwärmenetzen wurde eine umfassende Untersuchung des Phänomens der Gleichzeitigkeit durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es, das vorhandene Datenmaterial mit Hilfe von statistischen Methoden auszuwerten, und anhand der Ergebnisse eine verallgemeinerbare Funktion zur Beschreibung des Gleichzeitigkeitsfaktors in Abhängigkeit der Abnehmerzahl zu finden.

## **5. Methodik**

### **5.1. Definition – Gleichzeitigkeitsfaktor**

Zur quantitativen Beschreibung der Verringerung der tatsächlichen Abnahmeleistung gegenüber der Summe der individuellen Maximal-Abnahmeleistungen einer Gruppe von Fernwärmeabnehmern, wird der Begriff der Gleichzeitigkeit verwendet. Die allgemeine Definition dieses Faktors ist in Gleichung 5-1 dargestellt.

$$GLF = \frac{\sum_{i=1}^m P_i(t)}{\sum_{i=1}^m P_{N,i}}$$

**Gleichung 5-1:** Allgemeine Definition der Gleichzeitigkeit

*Erläuterung:  $P_i(t)$  ... abgenommene Leistung [kW] des Abnehmers  $i$  zum Zeitpunkt  $t$ ;  $P_{N,i}$  ... Nennleistung [kW] des Abnehmers  $i$ ;  $m$  ... Anzahl der Abnehmer in der betrachteten Gruppe*

**Equation 5-1:** Definition of simultaneity

*Comment:  $P_i(t)$  ... heat load [kW] of the consumer station  $i$  at time  $t$ ;  $P_{N,i}$  ... nominal heat load [kW] of consumer  $i$ ;  $m$  ... number of customers in the investigated group*

Für die Dimensionierung der Wärmeerzeugungsanlagen bzw. der Auslegung des Netzes ist die größte gemeinsam auftretende Leistungsanforderung der zu versorgenden Abnehmer wesentlich. In diesem Sinne bezieht sich der Begriff des Gleichzeitigkeitsfaktors in weiterer Folge auf diesen Zeitpunkt der Maximalleistung (siehe Gleichung 5-2).

$$GLF = \frac{\sum_{i=1}^m P_i(t_{MAX})}{\sum_{i=1}^m P_{N,i}}$$

**Gleichung 5-2:** Definition des Gleichzeitigkeitsfaktors

*Erläuterung:  $P_i(t_{MAX})$  ... abgenommene Leistung [kW] des Abnehmers  $i$  zum Zeitpunkt  $t_{max}$  der maximalen Leistungsanforderung der betrachteten Gruppe;  $P_{N,i}$  ... Nennleistung [kW] des Abnehmers  $i$ ;  $m$  ... Anzahl der Abnehmer in der betrachteten Gruppe*

**Equation 5-3:** Definition of the simultaneity factor

*Comment:  $P_i(t_{MAX})$  ... heat load [kW] of consumer  $i$  at time  $t_{max}$  at the maximum heat load of the investigated consumer group;  $P_{N,i}$  ... nominal heat load [kW] of consumer  $i$ ;  $m$  ... number of customers in the investigated group*

Bei der Dimensionierung der Wärmeerzeugungsanlage umfasst die betrachtete Abnehmergruppe alle zu versorgenden Abnehmer des Netzes. Dem gegenüber geht es bei der Netzauslegung um die Dimensionierung einzelner Rohrabschnitte des Netzes. In diesem Fall beinhaltet die Abnehmergruppe alle jene Abnehmer deren hydraulischer Strömungspfad über den betrachteten Rohrabschnitt führt.

Frühere Untersuchungen [3], [7] ergaben, dass die Haupteinflussgröße auf den Gleichzeitigkeitsfaktor die Anzahl der Abnehmer  $m$  in der untersuchten Gruppe ist.

## 5.2. Datenbasis der Untersuchung

Als Basis standen die Wärmezählerdaten aller Abnehmer von 2 österreichischen Biomasse-Nahwärmenetzen zur Verfügung. Beide Standorte weisen sehr unterschiedliche klimatische Bedingungen auf. Straßwalchen liegt im östlichen Teil des Bundeslands Salzburg an der Grenze zu Oberösterreich und befindet sich klimatisch gesehen im Alpenvorland. Dem gegenüber befindet sich Tamsweg im Zentralalpengebiet und ist bekannt für die sehr tiefen Außentemperaturwerte (in Winternächten  $< -22$  °C).

Die Eckdaten beider Fernwärmesysteme sind nachfolgend angegeben, wobei im Netz Tamsweg aufgrund von Zählerausfällen und damit verbundener unplausibler Leistungsverläufe nur 255 der insgesamt 286 Abnehmern ausgewertet werden konnten.

### **Straßwalchen (Salzburg)**

- 304 aufgezeichnete Abnehmerstationen (ausgewertet 304)
- Nennwärmeleistung ab Heizwerk: 6,8 MW  
(Biomassekessel 1: 2 MW; Biomassekessel 2: 3 MW; Rauchgaskondensationsanlage: 1,8 MW )
- Beobachtungszeitraum: Mai 1998-September 1999
- Daten: 1-h Werte der Zählerstände und der Außentemperaturen

### **Tamsweg (Salzburg)**

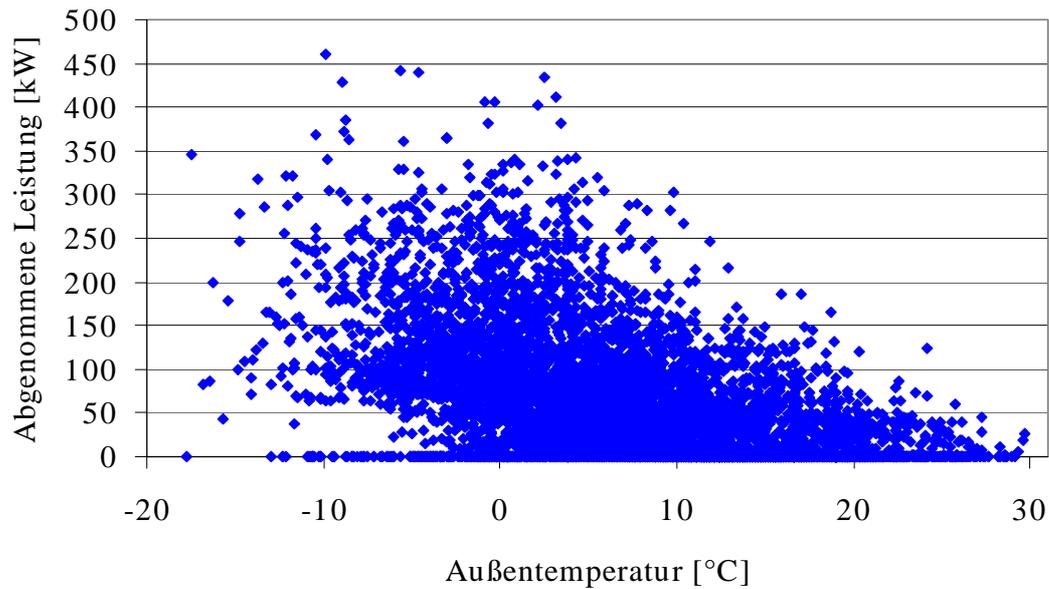
- 286 aufgezeichnete Abnehmerstationen (ausgewertet 255)
- Nennwärmeleistung ab Heizwerk: 10,5 MW  
(Biomassekessel 1: 5 MW; Biomassekessel 2: 3 MW; Rauchgaskondensationsanlage: 2,5 MW )
- Beobachtungszeitraum: Juni 1998-September 1999
- Daten: 1-h Werte der Zählerstände und der Außentemperaturen

## **5.3. Bestimmung der Nennleistung der Abnehmer**

Den ersten Schritt zur Ermittlung des Gleichzeitigkeitsfaktors stellt die Bestimmung der Nennleistung der untersuchten Abnehmer als Referenzparameter dar.

Da die von den Fernwärmekunden abgenommene thermische Energie neben der Warmwasserbereitung vor allem der Raumheizung dient, wurde primär davon ausgegangen, dass die maximal abgenommene Wärmeleistung mit der Außentemperatur zum jeweiligen Zeitpunkt korreliert. Zur Überprüfung dieser Annahme wurden die aufgezeichneten mittleren Stundenleistungen der Abnehmer der mittlern Außentemperatur zum jeweiligen Zeitpunkt gegenübergestellt (siehe Abbildung 5-1). Dabei zeigte sich bei allen untersuchten Abnehmern eine negativ lineare Korrelation zwischen Außentemperatur und abgenommener Leistung.

In den untersuchten Heizwerken kommen keine Einrichtungen zur Leistungs- bzw. Durchflussbegrenzung zum Einsatz, wodurch es zu teilweise hohen Leistungsspitzen kommt. Wie aus Abbildung 5-1 ersichtlich, folgen diese Spitzenwerte zwar der allgemeinen Tendenz, würden sie jedoch zur Ermittlung der Maximalleistung herangezogen werden, wäre eine beträchtliche Überbewertung der tatsächlich maximal erforderlichen Leistung die Folge. Ein Vergleich ergab, dass diese Leistungsspitzen die nominellen Nennleistungen der Hausübergabestationen mehrfach überschritten. Nachdem es sich bei den Nennleistungsangaben der Wärmetauscher in den Hausübergabestationen um vom Hersteller garantierte Leistungswerte handelt, welche sich auf eine bestimmte Vorlauftemperatur und Spreizung beziehen, können diese kurzfristig bei günstigen Temperaturbedingungen (sehr niedrige sekundärseitige Vorlauftemperaturen; z.B.: Warmwasserladung der Boiler) auch überschritten werden. Dies wurde sowohl von den Netzbetreibern als auch von den Herstellern der Wärmetauscher bestätigt.

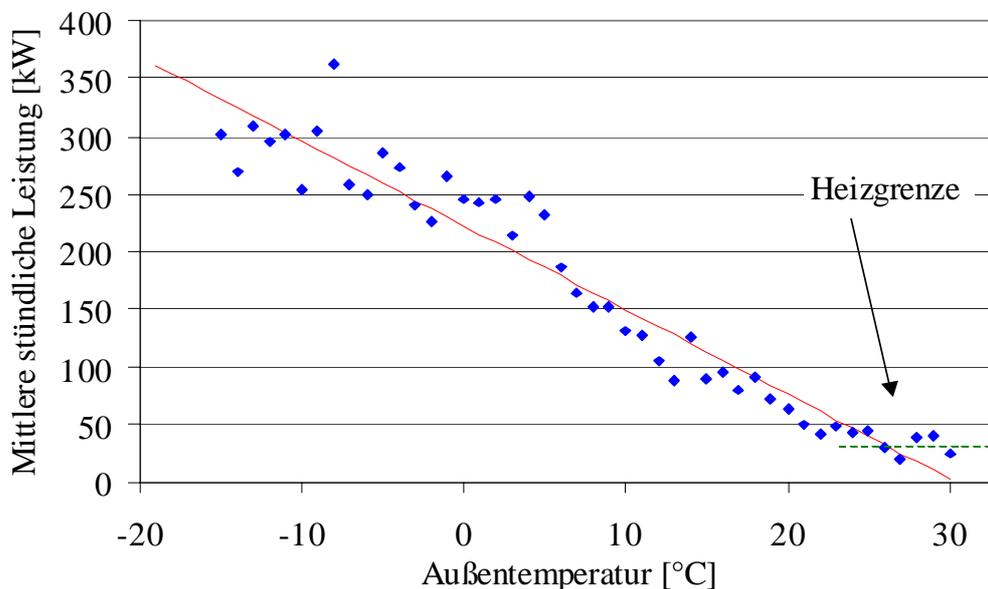


**Abbildung 5-1:** Beispielhafter Verlauf der abgenommenen Leistung eines Fernwärmeanschlusses in Abhängigkeit der Außentemperatur

*Erläuterung: Heizwerkstandort: Tamsweg (Salzburg); Aufzeichnungsintervall: 1 h; Aufzeichnungszeitraum 15 Monate; Abnehmer 155*

**Figure 5-1:** Consumer heat load depending on the ambient temperature

*Comment: Location of the district heating system: Tamsweg (Salzburg); sampling interval: 1 hour; recording period: 15 months; consumers 155*



**Abbildung 5-2:** Verlauf der maximal erforderlichen Wärmeleistung eines Abnehmers

*Erläuterung: Heizwerkstandort: Tamsweg (Salzburg); Aufzeichnungsintervall: 1 h; Aufzeichnungszeitraum 15 Monate; Abnehmer 155; 95%-Quantil der aufgezeichneten Abnahmeleistungen innerhalb von 1°C-Außentemperaturintervallen*

**Figure 5-3:** Maximum consumer heat load depending on the ambient temperature

*Comment: Location of the district heating system: Tamsweg (Salzburg); sampling interval: 1 hour; recording period: 15 months; consumers 155; 95% quantile of the heat load within a 1°C temperature period*

Zur Bestimmung des Verlaufes der maximalen notwendigen stündlichen Leistungen wurde der gesamte Außentemperaturbereich in 1°C-Intervalle unterteilt und innerhalb dieser das 95%-Quantil (jener Leistungswert welcher von 95 % aller Werte unterschritten wird) als tatsächlich für diese Außentemperatur maximal notwendige Abnahmeleistung definiert. Durch diesen „statistischen Filter“ konnten die Leistungsspitzen ausgeschieden werden.

Aus Abbildung 5-2 ist ersichtlich, dass der Verlauf der maximal erforderlichen Wärmeleistung eines Abnehmers über die jeweilige Außentemperatur bis zu einer unteren Grenze (Heizgrenze) mit guter Näherung als linear angenommen werden kann.

### **5.3.1. Selektion der Abnehmer**

Die Verläufe der aufgezeichneten Stundenleistungen sowie der maximal erforderlichen Wärmeleistung (95%-Quantile der aufgezeichneten Abnahmeleistungen in 1°C-Außentemperaturintervallen) aller Abnehmer wurden einer eingehenden visuellen Kontrolle unterzogen. Auf diesem Wege konnten Abnehmer mit zu geringer Datenmenge bzw. Abnehmer mit unplausiblen Verläufen aufgrund von Datenaufzeichnungsfehlern ausgeschieden werden. Ebenso wurden Abnehmer ausgeschieden, deren Verläufe eine sichere Bestimmung der Nennleistung über den linearen Zusammenhang mit der Außentemperatur nicht erlaubten. Für die Bestimmung des Verlaufes der maximalen Wärmeleistung der Abnehmer wurden weiters jene Temperaturintervalle, in welchen sich weniger als 10 Einzelwerte befanden, nicht berücksichtigt. Dies trat vor allem bei den niedrigsten Außentemperaturen auf, da diese Temperaturwerte nicht sehr oft im Jahr vorkommen. Dadurch wurde sichergestellt, dass es aufgrund einer nicht repräsentativen Anzahl von Leistungswerten pro betrachtetem Temperaturintervall zu einer Verzerrung des Wärmeleistungsverlaufes kommt.

Für die auf diese Weise eingehend kontrollierten und für plausibel erachteten Abnehmer, erfolgte die Bestimmung der Nennleistung durch Extrapolation der Regressionsgeraden zur Normaußentemperatur (siehe 5.3.2). Dabei wurde für jeden Abnehmer optisch die Heizgrenze (siehe Abbildung 5-2) ermittelt und nur jene Leistungswerte für die Regression herangezogen, welchen Temperaturen unter der Heizgrenztemperatur zugeordnet sind. Die Extrapolation der Regressionsgeraden war notwendig, da die gemessenen minimalen Außentemperaturen während des Auswertungszeitraumes nicht die festgelegte Normaußentemperatur der betrachteten Orte erreichten.

Nach Bestimmung der Nennleistung wurden die Werte aller Abnehmer durch Vergleich mit der installierten Stationsleistung und, in Zweifelsfällen, durch Rücksprache mit den Heizwerksbetreibern, ein weiteres Mal auf Plausibilität geprüft. Im Rahmen dieser Überprüfungen wurden 31 Abnehmer des Fernwärmenetzes Tamsweg aus der Auswertung genommen, da die resultierenden Leistungsverläufe, meist aufgrund von fehlenden Daten, keine plausiblen Werte ergaben.

### **5.3.2. Norm-Außentemperatur**

Unter der Norm-Außentemperatur wird jene Außentemperatur verstanden, bei welcher einem Gebäude die Norm-Heizlast (hier Nennleistung) zugeführt werden muss, um eine Berechnungs-Raumtemperatur erreichen und aufrechterhalten zu können [8]. Die Norm-Außentemperatur wird als niedrigster Zweitagesmittelwert der Lufttemperatur eines Ortes, welcher 10 mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wurde, definiert [8].

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Optimierte Dimensionierung von Rohrleitungssystemen für dezentrale Biomasseheizwerke“ [14] wurde eine umfangreiche Klimadatenanalyse österreichischer Orte durchgeführt. Die mittleren aufgetretenen Tagesaußentemperaturen der letzten 10 Jahre (1989-1999) laut Aufzeichnungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) [15], wurden mit den älteren Angaben in der ÖNORM B 8135 [8] verglichen. Dabei lagen die jüngeren Aufzeichnungen für Tamsweg und Straßwalchen signifikant über den Angaben laut Norm. Um der aktuellen Klimasituation entsprechend Rechnung zu tragen, wurden die Norm-Außentemperaturwerte für diese beiden Orte um die Hälfte der Abweichung der Aufzeichnungen der ZAMG von den Angaben laut ÖNORM B 8135 erhöht (siehe Tabelle 5-1).

<b>Ort</b>	<b>Norm-Außentemperatur</b>
Straßwalchen	-14 °C
Tamsweg	-19 °C

**Tabelle 5-1:** Norm-Außentemperaturen der untersuchten Orte

*Erläuterung: Für die Orte Tamsweg und Straßwalchen wurden die Werte der ÖNORM B 8135 [8] aufgrund von neuen 10-Jahres-Klimadaten um 2°C (Straßwalchen) bzw. um 3°C (Tamsweg) nach oben korrigiert.*

**Table 5-1:** Standard ambient temperatures at the locations of the district heating systems investigated in this study

*Comment: The ambient temperatures given in ÖNORM B 8135 [8] were increased due to the latest climate data of the past 10 years; the temperature values of Straßwalchen and Tamsweg were increased by 2 °C and 3 °C, respectively.*

## **5.4. Ermittlung der Gleichzeitigkeitsfaktoren**

Die weitere Auswertung zur Bestimmung der Gleichzeitigkeitsfaktoren erfolgte für jeden Heizwerksstandort separat, um einen Vergleich der Ergebnisse zwischen den Standorten zu ermöglichen und sie auf diesem Wege auf Plausibilität prüfen zu können.

### **5.4.1. Gruppierung der Abnehmer entsprechend ihrer Nennleistungen**

Das Hauptziel dieser Untersuchung bestand darin, den Gleichzeitigkeitsfaktors von unterschiedlichen Gruppengrößen zu bestimmen und daraus einen verallgemeinerbaren Verlauf zu ermitteln. Für die Verallgemeinerbarkeit ist es notwendig den Einfluss von stark unterschiedlichen Leistungen innerhalb dieser Gruppen zu minimieren. Aus diesem Grunde wurden Leistungsklassen definiert, welchen die Abnehmer entsprechend ihrer Nennleistung zugeordnet wurden. Die Leistungsklassen wurden so gewählt, dass der größte Abnehmer maximal doppelt so groß wie der kleinste Abnehmer sein konnte.

In Tabelle 5-2 sind die gewählten Leistungsklassen dargestellt und eine Übersicht über die Anzahl von Abnehmern pro Leistungsklasse gegeben.

Leistungsklassen	Anzahl von Abnehmern in den Leistungsklassen	
	Straßwalchen	Tamsweg
<= 15 kW	117	57
15 – 30 kW	97	81
30 – 50 kW	46	42
50 – 100 kW	24	40
100 – 200 kW	10	15
> 200 kW	10	20
<b>Summe</b>	<b>304</b>	<b>255</b>

**Tabelle 5-2:** Übersicht über die Anzahl von Abnehmern in den gewählten Leistungsklassen

**Table 5-3:** Number of consumers in the heat load categories

### 5.4.2. Bildung von Gruppen

Innerhalb der angeführten Leistungsklassen erfolgte anschließend die Generierung von Gruppen. Werden aus einer Grundgesamtheit von  $n=100$  Abnehmern 90er-Gruppen gebildet, ist die maximale Breite der Variation mit 10 Abnehmern eher gering, da 90 % der Gruppenzusammensetzung über alle Stichproben gleich bleiben. Um durch eine genügend große Variabilitätsbreite die Verallgemeinerbarkeit gewährleisten zu können, wurde in dieser Untersuchung die größte Gruppe innerhalb der jeweiligen Leistungsklassen auf  $\frac{2}{3}$  der Abnehmerzahl begrenzt (siehe Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4).

Die maximale Anzahl von Gruppen mit der Größe  $r$  aus einer Grundgesamtheit mit der Größe  $k$  lässt sich mit der nachfolgenden Gleichung 5-3 aus der Kombinatorik (Kombination ohne Wiederholung) ermitteln [1].

$$A(C_r^k) = \frac{k!}{r!(k-r)!}$$

**Gleichung 5-3:** Berechnungsgleichung zur Ermittlung der Anzahl möglicher aus einer Grundgesamtheit gezogener Stichprobenkombination ohne Wiederholung

*Erläuterung:*  $A(C_r^k)$ ... Anzahl aller voneinander verschiedener Kombinationen ohne Wiederholung;  $k$ ... Anzahl von Elementen in der Grundgesamtheit;  $r$ ... Anzahl von Elementen in der Stichprobe

**Equation 5-5:** Equation for calculating the possible number of samples from a population without repetition

*Comment:*  $A(C_r^k)$ ... maximum number of samples from a population without repetition;  $k$ ... number of elements within the population;  $r$ ... number of elements in the samples

Mittels Gleichung 5-3 kann gezeigt werden, dass die Anzahl der möglichen Variationen sehr groß ist. So ergeben sich in der Leistungsklasse  $\leq 15$  kW (Straßwalchen)  $7,1 \cdot 10^{27}$  Variationen von 30er-Gruppen bei 117 Abnehmern. Nachdem es angesichts dieser enormen Anzahl von Variationen (Grundgesamtheit) unmöglich ist alle auszuwerten, erfolgte die Ziehung von Stichproben. Zur Gewährleistung der Repräsentativität wurden diese in einem programmtechnisch aufwendigen Verfahren systematisch über die Grundgesamtheit verteilt. Die Anzahl der Stichproben wurde, aufgrund des sehr aufwendigen und damit sehr viel Rechnerzeit benötigenden Auswertung, mit ca. 2.500 für die Gruppen bis 40 Abnehmer bzw. mit ca. 1.400 für die größeren Gruppen festgelegt.

In Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4 wird nachfolgend eine Übersicht über die Anzahl der untersuchten Stichproben innerhalb der Leistungsklassen für unterschiedliche Gruppengrößen gegeben.

<b>Leistungsklassen [kW]</b>							
	$\leq 15$	15 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 200	$>200$	
<b>Anzahl der Abnehmer in den Leistungsklassen</b>							
	57	81	42	40	15	20	
<b>Gruppengröße</b>	<b>Anzahl der Stichproben in den Leistungsklassen</b>						<b>Summe der Stichproben</b>
2	677	700	500	500	145	230	<b>2.752</b>
3	700	700	500	500	240	240	<b>2.880</b>
5	700	700	500	500	240	240	<b>2.880</b>
10	700	700	500	500	200	240	<b>2.840</b>
15	700	700	500	500	-	200	<b>2.600</b>
20	700	700	500	500	-	-	<b>2.400</b>
30	700	700	500	500	-	-	<b>2.400</b>
40	800	800	-	-	-	-	<b>1.600</b>

**Tabelle 5-3:** Anzahl der gewählten Stichproben innerhalb der Leistungsklassen für Gruppengrößen bis 40 Abnehmer – Heizwerk *Tamsweg*

**Table 5-5:** Number of samples within the heat load categories for group sizes of up to 40 consumers - *Tamsweg*

<b>Leistungsklassen [kW]</b>							
	$\leq 15$	15 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 200	$>200$	
<b>Anzahl der Abnehmer in der Leistungsklasse</b>							
	117	97	46	24	10	10	
<b>Gruppengröße</b>	<b>Anzahl der Stichproben in den Leistungsklassen</b>						<b>Summe der Stichproben</b>
2	1.100	583	430	265	45	45	<b>2.468</b>
3	857	432	323	450	120	120	<b>2.302</b>
5	1.100	599	599	450	120	120	<b>2.988</b>
10	1.100	599	599	450	-	-	<b>2.748</b>
15	1.100	599	599	450	-	-	<b>2.748</b>
20	1.100	599	599	-	-	-	<b>2.298</b>
30	1.100	599	599	-	-	-	<b>2.298</b>
40	1.100	599	-	-	-	-	<b>1.699</b>
50	1.100	599	-	-	-	-	<b>1.699</b>
60	1.100	599	-	-	-	-	<b>1.699</b>
75	1.100	-	-	-	-	-	<b>1.100</b>

**Tabelle 5-4:** Anzahl der gewählten Stichproben innerhalb der Leistungsklassen für Gruppengrößen bis 75 Abnehmer – Heizwerk *Straßwalchen*

**Table 5-7:** Number of samples within the heat load categories for group sizes of up to 75 consumers - *Straßwalchen*

Zur Untersuchung der Gleichzeitigkeit in größeren Gruppen wurde keine Zuordnung der Abnehmer zu Leistungsklassen vorgenommen. Dies ist zum einen durch die beschränkte Anzahl von Abnehmern in den einzelnen Klassen begründet, zum anderen sinkt auch mit zunehmenden Gruppengrößen der Einfluss der individuell unterschiedlichen

Wärmeleistungen auf die Gleichzeitigkeit der Gesamtgruppe. Bei den Auswertungen für das Heizwerk Tamsweg wurden die Leistungsklassen für Gruppengrößen über 40 Abnehmer aufgelöst, für das Heizwerk Straßwalchen erfolgt dies für Gruppengrößen über 75 Abnehmer. Die untersuchten Gruppengrößen sowie die Anzahl der Stichproben in den Gruppen können der Tabelle 5-5 entnommen werden.

<b>Tamsweg</b>		<b>Straßwalchen</b>	
<b>Gruppengröße</b>	<b>Anzahl der Stichproben</b>	<b>Gruppengröße</b>	<b>Anzahl der Stichproben</b>
75	1648	100	699
90	1648	110	699
100	1648	125	699
110	1648	140	699
125	1648	150	699
140	1648	160	699
150	1748	180	699
160	600	200	699
180	600	220	699
200	600	230	699
		240	699
		260	699
		280	699
		290	699

**Tabelle 5-5:** Übersicht über die Stichprobenzahl in den untersuchten Gruppen ohne Leistungsklassierungen

**Table 5-9:** Number of samples for all group sizes without categorisation

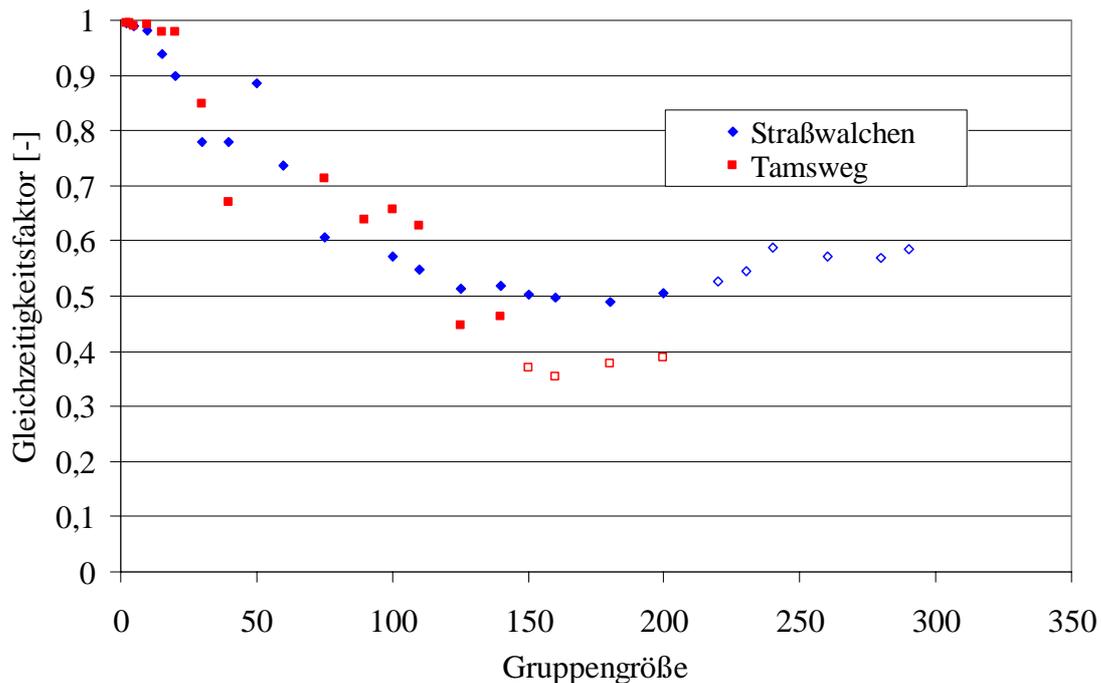
### 5.4.3. Bestimmung des Gleichzeitigkeitsfaktors für jede Gruppe

Auf Basis der Leistungsdaten (mittlere stündliche Leistungswerte) wurde für den gesamten Beobachtungszeitraum die größte gemeinsam auftretende Summenleistung aller Abnehmer der jeweiligen Stichprobe ermittelt und zusammen mit der Summe der Abnehmer-nennleistungen nach Gleichung 5-1 der Gleichzeitigkeitsfaktor berechnet.

Auf diese Weise wurde in jeder Gruppe, für eine Vielzahl von Stichproben der Gleichzeitigkeitsfaktor berechnet (siehe Spalten in Tabelle 5-3, Tabelle 5-4, sowie Stichprobenanzahl in Tabelle 5-5). Wie schon in der Einleitung erwähnt, dient der Gleichzeitigkeitsfaktor der Ermittlung der tatsächlich maximal benötigten Wärmeleistung einer Gruppe von Abnehmern. Dem entsprechend wurde als repräsentativer Wert jeder Gruppe das 99% Quantil gewählt, wodurch der Einfluss von Extremwerten und statistischen Ausreißern „gefiltert“ und damit die Verallgemeinerbarkeit der daraus abgeleiteten Verläufe verbessert wurde. Die Ergebnisse repräsentieren also jenen Gleichzeitigkeitsfaktor welcher innerhalb jeder Gruppe von 99% der Werte unterschritten wurde.

## 6. Ergebnisse

Im ersten Schritt wurde der Verlauf des Gleichzeitigkeitsfaktors für jeden Heizwerksstandort aufgetragen (siehe Abbildung 6-1).



**Abbildung 6-1:** Verlauf des 99%-Quantils der Gleichzeitigkeitsfaktoren in Abhängigkeit der Gruppengröße für die untersuchten Standorte Straßwalchen und Tamsweg

*Erläuterung:* Das 99%-Quantil für jede Gruppengröße bezieht sich auf die untersuchten Stichproben; die nicht ausgefüllten Punkte können aufgrund der geringen Variabilitätsbreite nicht als verallgemeinerbare Werte angesehen werden

**Figure 6-1:** 99% quantile of the determined simultaneity factors depending on the group sizes for both locations (Straßwalchen and Tamsweg)

*Comment:* The 99% quantile for each group size refers to the investigated samples; empty points indicate the results which cannot be generalised

Der Vergleich der Verläufe an beiden Standorten zeigt eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der generellen Tendenz. Für den Standort Tamsweg kann bis zu einer Gruppengröße von 140 Abnehmern von einer Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse ausgegangen werden. Darüber hinaus ist bei einer gesamten Abnehmerzahl von 255 bei Gruppengrößen über 140 die Variabilitätsbreite zu gering (Annahme der Begrenzung der Gruppengröße auf  $2/3$  der Gesamtzahl aller Abnehmer - siehe dazu Abschnitt 5.4.2). Beim Standort Straßwalchen mit einer Abnehmerzahl von 304, liegt diese Grenze bei einer Gruppengröße von 200 Abnehmern. Bei beiden Verläufen ist jenseits dieser Grenze eine Abweichung von der allgemeinen Tendenz beobachtbar, wodurch die Sinnhaftigkeit der Begrenzung der Gruppengröße bestätigt wird.

### **6.1. Empfohlene Näherungsfunktion zur mathematischen Beschreibung des Verlaufes des Gleichzeitigkeitsfaktors**

Zur Anwendung der Ergebnisse in Berechnungsprogrammen ist es notwendig den ermittelten Verlauf des Gleichzeitigkeitsfaktors in eine mathematisch beschreibbare Form zu bringen. In dieser Untersuchung wurde nach einer Funktion gesucht welche diesen Verlauf am besten beschreibt. Zur Bestimmung der geeigneten Näherungsfunktion wurde das Programm

TableCurve 2D® Version 4 (Jandel Scientific Software) verwendet. Als Näherungsfunktion wird die in Gleichung 6-1 dargestellte Funktion vorgeschlagen.

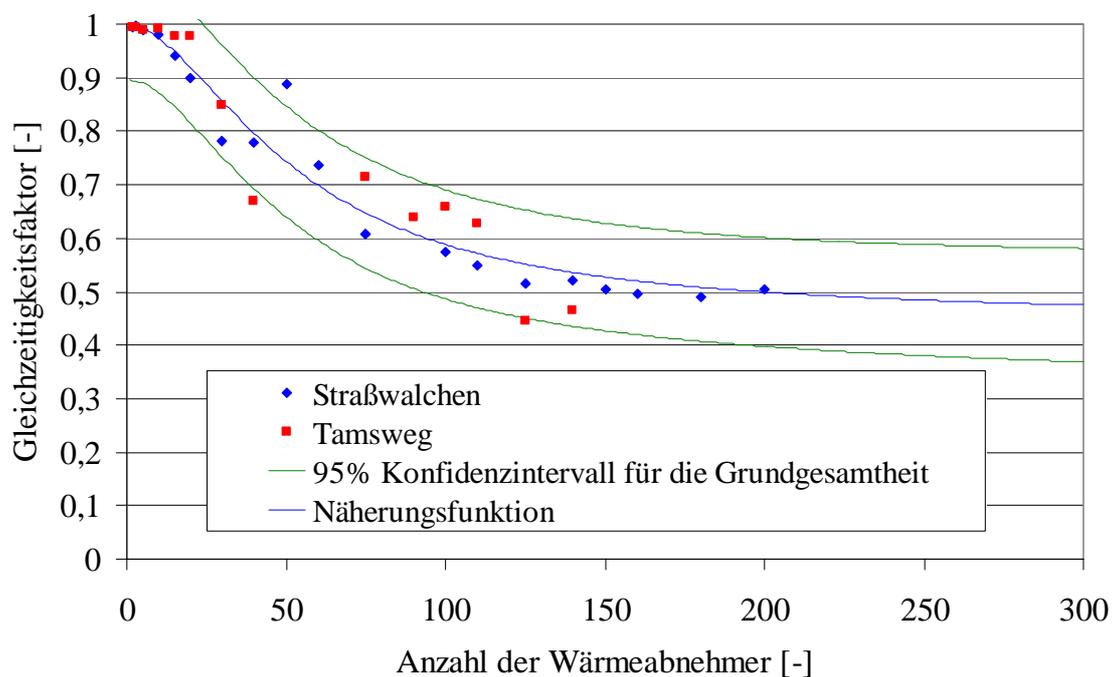
$$GLF(n) = a + \frac{b}{1 + \left(\frac{n}{c}\right)^d}$$

**Gleichung 6-1:** Näherungsfunktion zur Bestimmung des Gleichzeitigkeitsfaktors in Abhängigkeit der zu versorgenden Abnehmerzahl

*Erläuterung:* Fittfunktion des Verlaufs der ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktor-Daten für Straßwalchen und Tamsweg; Parameter:  $a = 0,449677646267461$ ;  $b = 0,551234688$ ;  $c = 53,84382392$ ;  $d = 1,762743268$ ; Bestimmtheitsmaß der Fittfunktion:  $r^2 = 0,95$ ; GLF ... Gleichzeitigkeitsfaktor; n ... Anzahl der Abnehmer in der Gruppe; Randbedingung: Funktion ist gültig für  $1 < n \leq 200$ ;  $GLF(1) = 1$

**Equation 6-1:** Suggested approximative equation for calculating the simultaneity factor depending on the number of consumers

*Comment:* Parameters:  $a = 0.449677646267461$ ;  $b = 0.551234688$ ;  $c = 53.84382392$ ;  $d = 1.762743268$ ; stability index of the equation:  $r^2 = 0.95$ ; GLF ... simultaneity factor; n ... number of consumers; scope of application  $1 < n \leq 200$ ;  $GLF(1) = 1$



**Abbildung 6-2:** Näherungsfunktion für den Verlauf des Gleichzeitigkeitsfaktors in Abhängigkeit der zu versorgenden Abnehmerzahl

**Figure 6-2:** Trend of the suggested approximative equation for calculating the simultaneity factor depending on the number of consumers

Die Annäherung der Funktionswerte bei großen Abnehmergruppen ( $>200$ ) gegen einen Wert von ca. 0,47 kann im Vergleich mit den ermittelten Daten als gute qualitative Beschreibung, nicht jedoch als gesicherter absoluter Verlauf betrachtet werden. Innerhalb des angegebenen

Konfidenzintervalle liegen mit einer 95% Wahrscheinlichkeit die tatsächlichen Werte für den Gleichzeitigkeitsfaktor.

## 7. Diskussion der Ergebnisse

Aufgrund des empirischen Charakters des Gleichzeitigkeitsfaktors und der, im Verhältnis zur maximal möglichen Variantenzahl (Grundgesamtheit) jeder Gruppe (siehe 5.4.2) kleinen Stichprobengröße, kommt es zu einer Streuung der Ergebnisse. Trotz dieser Streuung sind aus den Untersuchungsergebnissen eindeutige Verlaufstendenzen erkennbar. Das um den Verlauf der Näherungsfunktion angegebene Konfidenzintervall gibt jenen Bereich um die Funktion an, in welchem mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % die tatsächlich auftretenden Gleichzeitigkeitsfaktoren liegen.

Bei kleinen Abnehmergruppen (<15 Abnehmer) ist die Steigung der Verlaufes relativ gering wodurch sich eine abgeflachter Verlauf der Kurve in diesem Bereich ergibt. In Hinblick auf die Vielzahl von Stichprobenwerten für diese Gruppengröße und der großen Variabilitätsbreite der Stichproben, sowie der geringen Abweichung zwischen den Verläufen beider Standorte, sollte diese Tendenz auch in einem verallgemeinerten Verlauf enthalten sein. Die angegebene Näherungsfunktion bildet diese Tendenz gut ab.

Die zweite Tendenz zeigt, dass bei Abnehmergruppen größer 150 Abnehmer der Gleichzeitigkeitsfaktor einem konstanten Niveau zuzustreben scheint. Dieser Tendenz trägt die Annäherung der Näherungsfunktion bei größeren Abnehmergruppen an den Wert von 0,47 Rechnung. Angesichts der geringeren Stichprobenanzahl und kleineren Variabilitätsbreite, kann über den exakten Verlauf für Gruppen größer 200 Abnehmern jedoch keine verlässliche Aussage getroffen gegeben werden. Es sind jedoch keine großen Änderungen des Gleichzeitigkeitsfaktors bei Gruppengrößen > 200 Abnehmern mehr zu erwarten.

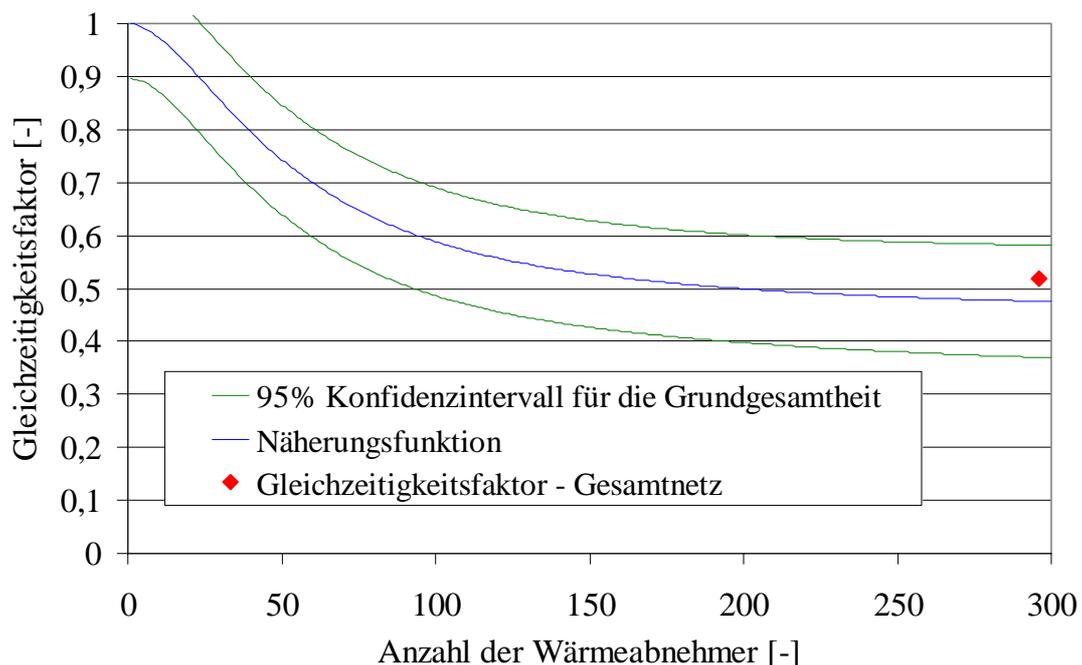
### 7.1. Vergleich der Näherungsfunktion mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor des Nahwärmenetzes Tamsweg

Zur Überprüfung der Lage des Gleichzeitigkeitsfaktors für Gruppengrößen über 200 Abnehmer wurden die Aufzeichnungsdaten der Wärmeerzeugungsanlagen (Biomassekessel, Ölkessel, Kondensationsanlage) des Heizwerkes Tamsweg der Summe der Nennleistungen der Wärmeabnehmer gegenübergestellt.

Im Zeitraum der Untersuchung (Juni 1998 – September 1999) wurden 296 Abnehmer mit Fernwärme versorgt. Bei 286 dieser Abnehmer werden die Verbraucherdaten kontinuierlich von einem zentralen Heizwerksrechner aufgezeichnet. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden, nachdem 31 Abnehmer aufgrund von fehlenden bzw. fehlerhaften Aufzeichnungsdaten ausgeschieden werden mussten, die Nennleistungen von 255 Abnehmern (86 %) bestimmt (siehe Abschnitt 5.3). Zur Abschätzung der gesamten Nennanschlussleistung des Nahwärmenetzes wurde davon ausgegangen, dass die 41 nicht ausgewerteten Abnehmer der durchschnittlichen Abnehmergröße im Netz entsprechen. Unter dieser Annahme wurde die Summe der Nennleistungen aller ausgewerteten Abnehmer um 14 % erhöht und die Summe der Nennleistungen der Abnehmer mit 18.591 kW festgelegt.

Anhand der ebenfalls aufgezeichneten Leistungsdaten der Wärmeerzeugungsanlagen (2 Biomassekessel, Kondensationsanlage, Ölkessel) (10minütige Wärme-Zählerstandswerte) wurde im untersuchten Zeitraum eine maximale thermische Leistung von 10.585 kW in das Netz geliefert [6]. Unter Berücksichtigung der auftretenden Netzverluste in der Höhe von 10 % bezogen auf die Heizleistung ab Heizwerk bei maximaler Wärmeabnahme [14], ergibt sich eine maximale Leistungsanforderung der Abnehmer von 9.526 kW. Auf Basis dieser Daten beträgt der Gleichzeitigkeitsfaktor des Nahwärmenetzes Tamsweg 0,51.

Der Vergleich des abgeschätzten Gleichzeitigkeitsfaktors des Nahwärmenetzes Tamsweg mit der vorgeschlagenen Näherungsfunktion (siehe Abbildung 7-1) zeigt, dass die ermittelte Funktion auch für Gruppen mit mehr als 200 Abnehmern eine plausible Tendenz zeigt (siehe Abbildung 7-1).



**Abbildung 7-1:** Vergleich der vorgeschlagenen Näherungsfunktion für den Gleichzeitigkeitsfaktor mit dem aus vorliegenden Messdaten bestimmten Gleichzeitigkeitsfaktor für das gesamte Nahwärmenetz Tamsweg

**Figure 7-1:** Simultaneity factor of Tamsweg compared with the trend of the simultaneity factor calculated by the suggested equation

## 7.2. Einfluss von Nennleistungsunterschieden innerhalb einer Abnehmergruppe

Befinden sich in einer Abnehmergruppe ein oder mehrere Abnehmer mit einer Wärmeleistung welche wesentlich größer als die der restlichen Abnehmer ist, so besteht die Gefahr, dass bei einer großen Anzahl von kleinen Abnehmern der rechnerisch ermittelte Gleichzeitigkeitsfaktor der Gesamtgruppe soweit verringert wird, dass die sich daraus ergebende Gesamtwärmeleistung zu gering ist. Dieser Einfluss soll anhand des folgenden Beispiels erläutert werden.

Annahme:

In einer fiktiven Abnehmergruppe befinden sich 50 Wärmeabnehmer mit je 10 kW Anschlussleistung und 1 Großabnehmer mit 1 MW Anschlussleistung.

Für 51 Abnehmer liegt der Gleichzeitigkeitsfaktor bei ca. 0,73. Daraus ergäbe sich rechnerisch eine maximal erforderliche Gesamtwärmeleistung der Gruppe von 1.095 kW. Würde nun der zu versorgende Strang, bzw. der Wärmeerzeuger auf diesen Leistungswert ausgelegt, so wären diese unterdimensioniert. Bei Vollast des Großabnehmers könnte keine ausreichende Versorgung der 50 Wärmeabnehmer gewährleistet werden, welche unter Berücksichtigung ihrer Gleichzeitigkeit eine maximale Leistung von ca. 360 kW benötigen. Dieser Effekt sollte bei der Auslegung von Netzen auf jeden Fall berücksichtigt werden.

Eine Untersuchung des Einflusses stark unterschiedlicher Nennleistungen der Abnehmer auf den Gleichzeitigkeitsfaktor gestaltet sich schwierig, da dazu Messwerte aus Nahwärmenetzen mit vielen kleinen Abnehmern aber auch einer größeren Zahl von Großabnehmern nötig sind. Große Abnehmer sind jedoch in den beiden untersuchten Netzen nur in sehr geringem Umfang vorhanden, sodass eine derartige Untersuchung keine verlässlichen Ergebnisse brachte. Mit der steigenden Anzahl von Nahwärmenetzen mit Ferndatenerfassung und der damit steigenden Zahl von verfügbaren Messdaten wird es aber in näherer Zukunft auch möglich sein diesbezüglich zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen.

Für diese vorliegenden Untersuchung wurde bei der Bildung der Abnehmergruppen bis zu einer Gruppengröße von 75 Abnehmern eine Klassierung hinsichtlich der Nennleistung vorgenommen, um den Einfluss stark unterschiedlicher Abnehmerleistungen auf den Gleichzeitigkeitsfaktor zu minimieren. Dabei wurden die Leistungsklassen so gewählt, dass das maximal mögliche Verhältnis von größter zu kleinster Nennleistung den Faktor 2 nicht übersteigt. Bei der Verwendung der Verläufe sollte daher darauf geachtet werden, dass bei Gruppengrößen mit weniger als 75 Abnehmern die Nennleistungen innerhalb der Abnehmergruppe maximal um den Faktor 2 differieren. Für Gruppen mit mehr als 75 Abnehmern wurde eine derartige Klassierung nicht vorgenommen, wodurch die vorliegenden Ergebnisse derartiger Gruppen ungeachtet der Größe der Nennleistungen der einzelnen Abnehmer gültig sind.

## 8. Zusammenfassung

Für die Dimensionierung von Fernwärmenetzen und der Wärmeerzeugungsanlagen ist es von entscheidender Bedeutung, die gemeinsame maximale Wärmeleistung aller Verbrauchern zu kennen. Das Verhältnis dieser maximal benötigten Wärmeleistung zur Summe der Nennleistungen der Abnehmer wird als *Gleichzeitigkeitsfaktor* bezeichnet.

Anhand umfangreicher Abnehmerdaten von zwei österreichischen Biomasse-Nahwärmenetzen wurde eine Untersuchungen über die Abhängigkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors von der Anzahl der zu versorgenden Abnehmer durchgeführt.

Für beide Nahwärmenetze wurden aus der Gesamtheit der Abnehmer Gruppen unterschiedlicher Größe gebildet (2er-Gruppen bis 200er –Gruppen). Für jede Gruppengröße wurden zwischen 1.000 und 2.700 Varianten mit unterschiedlicher Abnehmerzusammensetzungen untersucht und für jede Variante anhand der aufgezeichneten Leistungswerte der Wärmeabnehmer der maximal zu erwartende Gleichzeitigkeitsfaktor

bestimmt. Mit zunehmender Gruppengröße zeigte der Gleichzeitigkeitsfaktor dabei eine abnehmende Tendenz. Für Gruppen mit mehr als 200 Abnehmern nivelliert sich dieser auf einen Wert von ca. 0,47 ein. Anhand dieser Untersuchungsergebnisse wurde eine Näherungsfunktion zur Beschreibung der Abhängigkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors von der zu versorgenden Abnehmerzahl ermittelt, sowie die Gültigkeit dieser funktionalen Beziehung diskutiert.

Ein Vergleich des, anhand der erarbeiteten Näherungsfunktion berechneten Gleichzeitigkeitsfaktors für das Nahwärmenetz Tamsweg mit dem aus den Realdaten der Wärmeerzeugungsanlage ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktors für das Netz zeigt, dass die vorliegende Näherungsfunktion auch außerhalb ihres Gültigkeitsbereiches (Gruppengrößen über 200 Abnehmer) plausible Ergebnisse liefert.

## 9. Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Optimierte Dimensionierung und Betrieb von Rohrleitungssystemen für dezentrale Biomasseheizwerke“ durchgeführt. Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Bundes, der Bundesländer Oberösterreich, Salzburg und Steiermark, des Freistaates Bayern und der Europäischen Gemeinschaft (Europäischer Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft) finanziell unterstützt.

Die Betriebsdaten für diese Untersuchungen wurden von den österreichischen Heizwerksgenossenschaften Straßwalchen und Tamsweg zur Verfügung gestellt, wofür sich die Autoren auf diesem Wege noch einmal herzlich bedanken möchten.

Ein besonderer Dank für die gute und unbürokratische Zusammenarbeit sei an dieser Stelle den Mitarbeitern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), - Regionalstelle für die Steiermark unter der Leitung von Herrn Dr. Pilger ausgesprochen.

## 10. Literatur

- [1] BRONSTEJN I. N., SEMENDJAEV K.,A., 1991: Taschenbuch der Mathematik, ISBN 3-8154-2000-8, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Deutschland
- [2] BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, 1986: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben BI6-800183-108, Untersuchung zur Anpassung der Rechenansätze für den Jahresheizwärmeverbrauch nach VDI 2067/2 an die veränderten Verhältnisse bezüglich der Wärmebedarfsrechnung der hochgedämmten Bauarten und des Nutzungsverhaltens, Herman-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik der Technischen Universität Berlin (Hrsg), Deutschland
- [3] DEMMEL S., PLANCK H., WINTER W., HEIN D., OBERNBERGER I., 1998: Optimierte Dimensionierung und Betrieb von Rohrleitungssystemen für Biomasseheizwerke, Endbericht zur Projektphase I des gleichnamigen internationalen Forschungsprojektes im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung und C.A.R.M.E.N. (Bayern), BIOS Bioenergiesysteme (Hrsg.), Graz, Österreich

- [4] DIN 4701, 1995: Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden, Deutsches Normungsinstitut (Hrsg.), Deutschland
- [5] FANINGER G., 1998: Energieausweis für Gebäude, Rechenprogramm zur Abschätzung des Heizwärme- und Brennstoffbedarfes von Gebäuden; Schriftenreihe „Energie und Umwelt“, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf und Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung der Universitäten Innsbruck, Klagenfurt und Wien (IFF), Universität Klagenfurt (Hrsg.), Österreich
- [6] FERNWÄRMEVERSORGUNGS-GMBH & CO KG TAMSWEG, 1998: Sustainable Biomass Heating; Plant Tamsweg - Realisation of the Technological and Ecological State of the Art, final report, THERMIE project No. BM/0333/95, European Commission, DG XVII (ed), Brussels, Belgium
- [7] LAUCHER A., 1995: Biomasseortszentralheizungen- Technische und betriebswirtschaftliche Überlegungen. In: Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 5, ISBN 3-7843-2765-6, Landwirtschaftsverlag Münster (Hrsg.), Deutschland
- [8] ÖNORM B 8135, 1980: Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlustes (Heizlast) von Gebäuden, Anhang 2 Klimadaten Österreichischer Orte, Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Wien, Österreich
- [9] ÖNORM M 7500, 1980 Teil 1: Heizlast von Gebäuden Grundsätze, Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Wien, Österreich
- [10] ÖNORM M 7500, 1980 Teil 2: Heizlast von Gebäuden Berechnungsverfahren für Normalfälle, Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Wien, Österreich
- [11] ÖNORM M 750,0 1980 Teil 3: Heizlast von Gebäuden Berechnungsverfahren für Sonderfälle, Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Wien, Österreich
- [12] RECHNAGEL H., SPRENGER E., SCHRAMEK R., 1998: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, ISBN 3-89319-966-7, Oldenburgverlag, Bonn, Deutschland
- [13] WINKENS H., P., 1994: Fernwärmespeicherung, -transport, und -verteilung, Forschungszentrum Jülich (Hrsg.), Jülich, Deutschland
- [14] WINTER W., OBERNBERGER I., 2001: Optimierte Dimensionierung und Betrieb von Rohrleitungssystemen für Biomasseheizwerke, Endbericht zur Projektphase II des gleichnamigen internationalen Forschungsprojektes im Auftrag des Bundes, der Länder Oberösterreich und Salzburg sowie der Europäischen Gemeinschaft (Europäischer Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft), BIOS Bioenergiesysteme (Hrsg.), Graz, Österreich
- [15] ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (ZAMG), 2000: Temperaturdaten österreichischer Orte für den Beobachtungszeitraum 1989 bis 1999, Regionalstelle für die Steiermark (Hrsg), Graz, Österreich