

## Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile

Mark Hellwig

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. S. Kindersberger

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil F. Schneider, i.R.

Die Dissertation wurde am 22.05.2003 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
am 15.09.2003 angenommen.

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Hintergrund	1
1.2. Veränderung der Versorgungsstruktur	1
1.3. Liberalisierte Energiemärkte	2
1.3.1 Transport	3
1.3.2 Handel	5
1.4. Der Einsatz von Lastprofilen	6
<b>2. Definitionen und Festlegungen</b>	<b>7</b>
2.1. Energiewirtschaftliche Kenngrößen	7
2.2. Nomenklatur	9
2.3. Statistische Kenngrößen	10
<b>3. Stichprobenauswahl und Datengrundlage</b>	<b>12</b>
3.1. Abgrenzung	12
3.2. Kleinkunden in der BRD	12
3.3. Datengrundlage	18
3.4. Stichprobenumfang und –charakter	20
<b>4. Zusammensetzung des Energiebezugs</b>	<b>21</b>
4.1. Verbrauchsanteile	21
4.1.1 Transmission	21
4.1.2 Lüftung	21
4.1.3 Kesselwirkungsgrad	22
4.1.4 Gewinne	23
4.1.5 Saldo	23
4.1.6 Prozessenergie	23
4.1.7 Stundenverlauf	23
4.2. Klimatische Einflussgrößen	25
4.2.1 Außentemperatur	25
4.2.2 Strahlung und Wind	27
4.3. Wochentagsabhängigkeit	31
4.4. Gleichzeitigkeitsgrad	34
4.5. Sonstiges	35
<b>5. Lastprofilverfahren</b>	<b>35</b>
5.1. Grundsätzliches	35
5.2. Beschränkungen	36
5.3. Wahl der Regressionsfunktion	37
5.4. Umsetzung	39
5.5. Stundenwerte	41

---

<b>6. Datenerfassung und -verarbeitung</b>	<b>41</b>
6.1. Datenaufbereitung und –korrektur	41
6.2. Standardisierung	43
<b>7. Entwickelte Lastprofile</b>	<b>46</b>
7.1. Haushalte	46
7.1.1 Abbildung des Tagesverbrauchs	46
7.1.2 Abbildung des Stundenverbrauchs	51
7.2. Gewerbe, Handel und Dienstleistung	54
7.2.1 Abbildung des Tagesverbrauchs	54
7.2.2 Abbildung des Stundenverbrauchs	59
a) Metall & Kfz	59
b) Papier & Druck	60
c) Einzelhandel	61
d) Großhandel	63
e) Sonstige betriebliche Dienstleistungen	63
f) Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen	65
g) Kreditanstalten & Versicherungen	65
h) Beherbergung	66
i) Gaststätten	66
j) Bäckereien	67
k) Wäschereien	69
l) Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime	69
m) Gartenbau	70
7.3. Statistische Sicherheit	72
<b>8. Anwendung und Synthese</b>	<b>76</b>
8.1. Vorgehensweise	76
8.2. Lastsynthese und Plausibilisierung	79
8.2.1 Verbrauchsmessungen	79
a) Einzelverbraucher	79
b) Verbraucherkollektive	81
8.2.2 Statistische Quellen	81
a) Grundlagen	81
b) Versorgungsnetze	87
c) Verbrauchsstatistik	89
8.3. Anwendung in der Praxis	90
<b>9. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>92</b>

Inhaltsverzeichnis	III
<b>10. Literatur</b>	<b>94</b>
<b>11. Anhang 1: Brennstoffverbrauch in G/H/D</b>	<b>98</b>
11.1. Branchenverbrauch	98
11.2. Arbeitsstättenanzahl	98
11.3. Arbeitsstättenspezifischer Verbrauch	99
11.4. Flächenspezifischer Verbrauch	99
<b>12. Anhang 2: Koeffizienten und F-Faktoren</b>	<b>100</b>
<b>13. Anhang 3: Stundenfaktoren</b>	<b>101</b>
13.1. Haushalte	101
13.2. Kategorie 1: Kfz & Metall	103
13.3. Kategorie 2: Papier & Druck	105
13.4. Kategorie 3: Einzelhandel	107
13.5. Kategorie 4: Großhandel	109
13.6. Kategorie 5: Sonstige betriebliche Dienstleistungen	111
13.7. Kategorie 6: Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen	113
13.8. Kategorie 7: Kreditanstalten & Versicherungen	115
13.9. Kategorie 8: Beherbergung	117
13.10. Kategorie 9: Gaststätten	119
13.11. Kategorie 10: Bäckereien	121
13.12. Kategorie 11: Wäschereien & chemische Reinigungen	123
13.13. Kategorie 12: Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime	125
13.14. Kategorie 13: Gartenbau	127
<b>14. Anhang 4: Vertrauensbereiche</b>	<b>129</b>
14.1. Haushalte	129
14.2. Gewerbe, Handel und Dienstleistung	133

**Formelzeichen**

$A$ :	Fläche	[m <sup>2</sup> ]
$A, B, C, D$ :	Koeffizienten der Abbildungsfunktion	[-]
$B$ :	Bestimmtheitsmaß	[-]
$E_G$	Spezifische Globalstrahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
$c$ :	Wärmekapazität	[kWh/(kg·K)]
F:	Wochentagsfaktor	[-]
$f( )$ :	Funktion von	
$g_g$ :	Gleichzeitigkeitsgrad	[-]
$h$ :	normierter Verbrauch	[1/d, 1/h]
$H_o$ :	oberer volumetrischer Heizwert	[kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]
$K$ :	Kollektivstärke	[Stk.]
$n$ :	Luftwechselzahl	[1/h]
$N$ :	Anzahl	[Stk.]
$Q$	Gasenergie (bez. auf $H_o$ )	[kWh, J]
$\dot{Q}$	Gasleistung (bez. auf $H_o$ )	[kW, kWh/d, kWh/h]
$s$ :	Standardabweichung	[-]
$S$ :	statistische Sicherheit	[%]
$SB$ :	Spannbreite	[-]
SF:	Stundenfaktor	[%]
$\rho$ :	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$t$ :	Student'sche Prüfgröße	[-]
$t$ :	Zeit	[d, h, Min, s]
T	Anzahl der Tage	[-]
$T_A$ :	Ausnutzungsdauer	[h]
$T_B$ :	Benutzungsdauer	[h]
$\vartheta, \vartheta_A$ :	Temperatur, Außentemperatur	[°C]
$v$ :	Windgeschwindigkeit	[m/s]
$V$ :	Volumen	[m <sup>3</sup> ]
$V_N$ :	Normvolumen gemäß ISO 13443	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> , „Nm <sup>3</sup> “]
$U$ :	Wärmedurchgangskoeffizient	[Q/(m <sup>2</sup> ·K)]

## Indizes

Alt, Neu:	Alt-, Neubau
Anschl:	Anschluss
HA:	Hausanschluss
i:	laufender Index
inst:	installiert
Ist ,Rechnung:	Messwerte, errechnete Werte
Jahr, Tag, Stunde:	bezogen auf die entsprechende Zeitbasis
Lüftung:	Lüftungs-Wärmeverluste
min., max:	minimaler, maximaler Wert
$\sum \dot{Q}_{\max}$ :	Wert zum Zweitpunkt der Netzhöchstlast
Transmission:	Transmissions-Wärmeverluste
vor, nach:	vor, nach Arbeitsschritt
Wochentag:	einzelne Wochentage betreffend
Wochenmittel:	das Mittel über alle Wochentage

Weitere Indizes gemäß den Erläuterungen im Text.

## Kurzformen

Alt, Neu	Alt-, Neubau
BGK:	Betriebsgrößenklasse
BGW:	Bundesverband der deutschen Gas- und Was serwirtschaft e.V.
$\Delta$ :	Unterschied, Differenz
DWD:	Deutscher Wetterdienst
EFH, MFH:	Ein-, Mehrfamilienhaus
EVU:	Energieversorgungsunternehmen
G/H/D:	Gewerbe, Handel und Dienstleistung
Rhzig., WW:	Heizungs-, Warmwasserverbrauch
Temp.:	Temperatur
V95:	95%-Vertrauensbereich
+V95, -V95:	obere, untere Grenze des V95-Bereichs
VKU:	Verband kommunaler Unternehmen e.V.

---

## **Abstrakt**

Die vorliegende Arbeit erläutert die Nachbildung des Bezugsgangs von nicht-leistungsgemessenen Verbrauchern mittels statistischem Lastprofil unter anderem zum Zwecke der Abbildung der Netzbelastung für die Durchleitung im Rahmen des liberalisierten Erdgasmarktes. Detailliert wird auf Hintergründe und Methoden eingegangen, die dem beschriebenen Verfahren zu Grunde liegen. Daran anschließend werden die Ergebnisse quantitativ und qualitativ diskutiert, es werden sowohl die Kausalität von Zusammenhängen angesprochen als auch die gefundenen Ergebnisse einer kritischen Überprüfung unterzogen. Abschließend erfolgt eine Anwendung und Plausibilisierung der ermittelten Lastprofile mit statistischem Datenmaterial.

The main issue of this research is the emulation of gas characteristics by statistical load profiles. These are used, among other purposes, to enable third party access in the liberalized gas market. Background information and methodical approach, which form the basis for the proceedings, are looked upon in detail. Subsequently, the results are evaluated both quantitatively and qualitatively. Causal coherences and the reliability of findings are critically discussed. Finally, the applied load profiles are used to reproduce gas statistics, which ensures the quality of the results.

# 1. Einleitung

## 1.1. Hintergrund

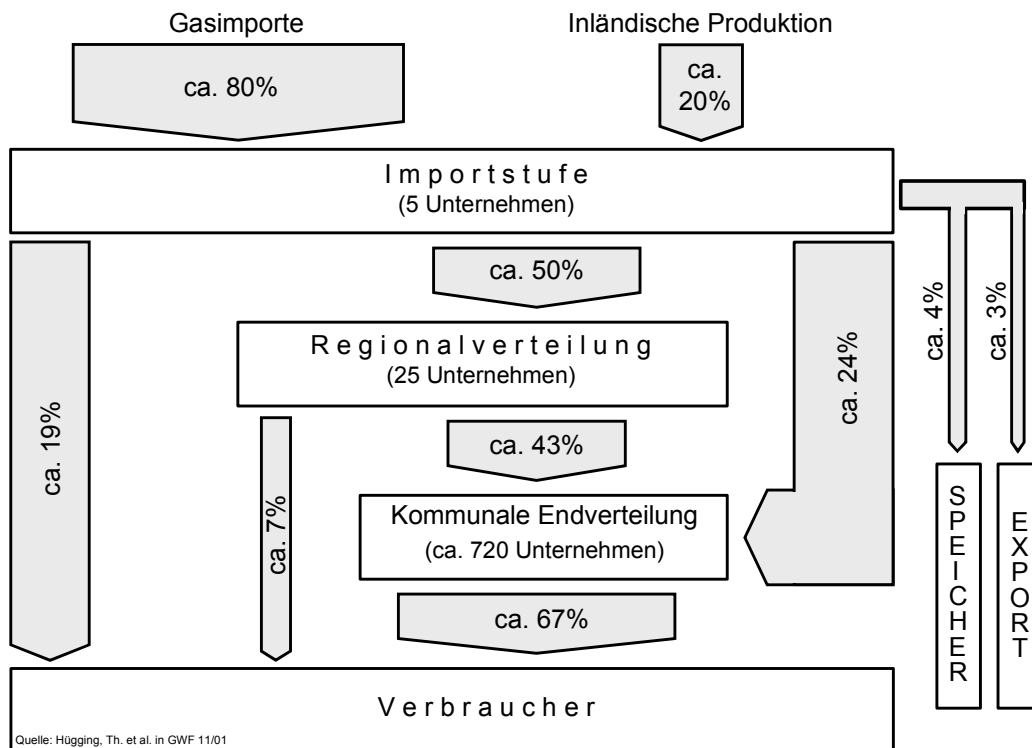
Die Liberalisierung des europäischen Binnenmarktes für Erdgas (siehe hierzu / 21/, / 22/, / 23/, / 24/) hat wie zuvor im Binnenmarkt für Strom grundlegende Veränderungen für die Strukturen der Energieversorgung zur Folge. Insbesondere gilt dies im Verhältnis zwischen Energieversorgungsunternehmen (EVU) und Verbrauchern sowie innerhalb der vormals integrierten EVU.

Das traditionelle Energieversorgungs-Verbundunternehmen wird abgelöst von getrennt agierenden Netzbetreibern und Gashändlern, die nicht mehr nur örtlich zusammenhängende Versorgungsgebiete, sondern zudem gezielt einzelne Kundengruppen in ganz Deutschland beliefern. Für die Abwicklung solcher Vorgänge müssen Vorschriften festgelegt und Verfahren entwickelt werden, die Fremdversorgern ein gegenüber alteingesessenen Unternehmen nicht diskriminiertes Wirken gestatten.

Mit dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten Verfahren und den erstellten Lastprofilen wurde erstmals die Möglichkeit geschaffen, die Netzlast von Erdgaskleinkunden in ganz Deutschland verursachergerecht abzubilden und diesen damit die Möglichkeit gegeben, am liberalisierten Europäischen Binnenmarkt zu partizipieren.

## 1.2. Veränderung der Versorgungsstruktur

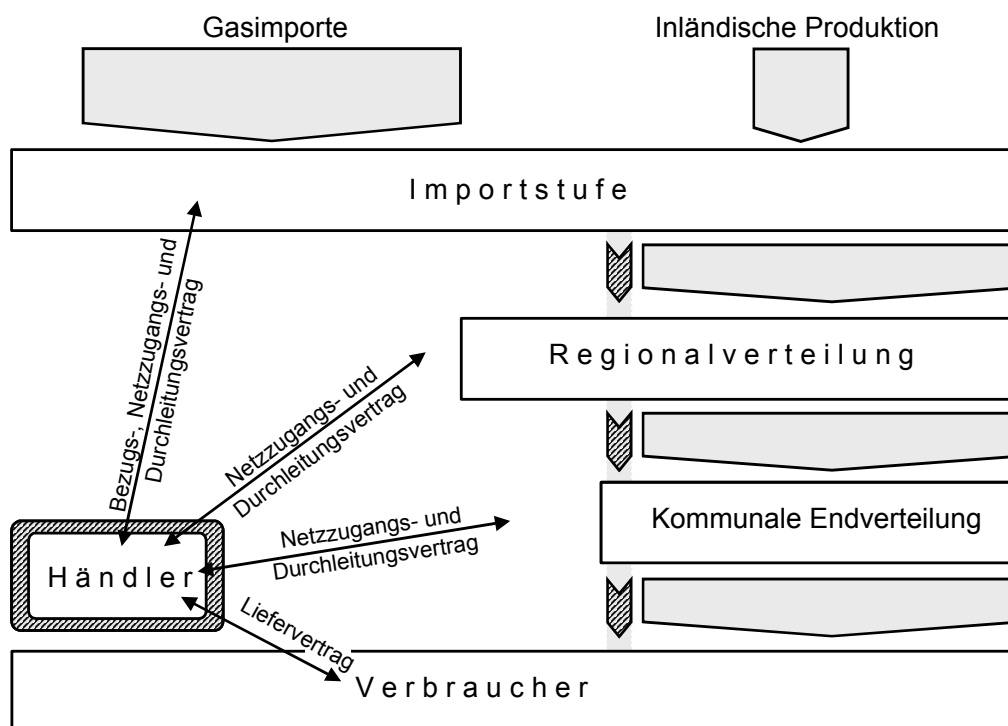
Heute sind über 750 eigenständige Gasunternehmen auf drei Netzstufen tätig, der Großteil hiervon in der kommunalen Endverteilung. Etwa 80 % des verteilten Erdgases wird importiert, rund 20 % stammt aus inländischer Produktion (/ 52 /, vgl. **Bild 1-1**).



**Bild 1-1:** Struktur der Erdgasversorgung heute



Durch Aufbrechen der Gebietsmonopole und Entflechtung der Unternehmen in die Bereiche Handel und Transport wird die Gasversorgung von Endkunden auch durch nicht vor Ort ansässige Händler („Fremdversorger“) ermöglicht. Damit soll zunehmender Wettbewerb, verbunden mit Vorteilen für den Endverbraucher, ermöglicht werden. Hierzu ist naturgemäß die Durchleitung der Gasmengen der Fremdversorger durch die bestehenden Gasnetze erforderlich. Besondere Anforderungen bezüglich Objektivität und Diskriminierungsfreiheit bei der Gestaltung der Netzzugangskonditionen stellen sich auf Grund der bislang verbundenen Unternehmensstrukturen. Hier darf es zu keiner diskriminierenden Behandlung der Fremdversorger kommen.



**Bild 1-2:** Vertragsverhältnisse zwischen Händler, Verbraucher und Netzbetreibern

Unumgänglich ist für den Händler neben dem Gasbezugsvertrag mit seinem Lieferanten und dem Gasliefervertrag mit seinem Kunden ein Netzzugangs- sowie Durchleitungsvertrag für die Netze, über die die Lieferung erfolgen soll. In **Bild 1-2** ist dies für das Beispiel eines Händlers, der Gas auf der Importstufe bezieht und an einen Endverbraucher am Netz der kommunalen Endverteilung liefert, dargestellt.

### 1.3. Liberalisierte Energiemärkte

Die Europäische Richtlinie / 21 / lässt den Mitgliedsstaaten die Wahlmöglichkeit, den Netzzugang auf Vertragsbasis oder mit geregelter Netzzugang zu gestalten. Da in Deutschland bislang erstgenannter Weg beschritten wird, haben der Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), der Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK), der Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (BGW) und der Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU) Vereinbarungen bezüglich der Umsetzung getroffen (/ 25 /). Aktuell wird die Übernahme dieser Regelungen in nationales Recht angestrebt.

Die Lastprofile, die den weiteren Erläuterungen gemäß entwickelt wurden, finden praktische Anwendung im Rahmen dieser Verbändevereinbarung. Sie stellen für nicht leistungsgemessene Kunden Verbrauchswerte mit bis zu stündlicher Auflösung bereit, die quasi Ersatzwerte für eine Leistungsmessung darstellen. Somit dienen die mittels Profil dargestellten Lastverläufe vor allem der Nachbildung der Ausspeisung beim Kunden, die mengen- und zeitgleich der in ein Netz eingebrachten (gemessenen) Einspeisung sein sollte.

Auf Grund des geforderten *unbundlings*, d.h. der Aufteilung der Versorgungsunternehmen in einen Handels- und einen Transportbereich, müssen die Auswirkungen des liberalisierten Marktes auf diese beiden Bereiche von Unternehmen bei der Behandlung von Kleinkunden getrennt untersucht werden.

### 1.3.1 Transport

Der Verbraucher, meist vertreten durch den ihn versorgenden Händler, schließt mit dem Netzbetreiber einen Netzzugangsvertrag ab.

Für die Fern- und Regionalgasstufe setzen sich die sich hieraus ergebenden Netzzugangsentgelte aus dem Entgelt für die vereinbarte Transportkapazität ( $[m^3_N/h]$ ), und dem Entgelt für Systemdienstleistungen zusammen. Das Entgelt für die Transportkapazität richtet sich dabei gemäß einem Punktzahlenmodell nach der Entfernung zwischen Ein- und Ausspeisepunkt und der Nennweite oder Druckstufe der in Anspruch genommenen Leitungsstrecken. Für die Transportkapazität steht dem Durchleitenden zudem eine Steuerungsdifferenz von maximal 2 % der vereinbarten Kapazität zur Verfügung, bevor zusätzliche Kosten berechnet werden. Im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern ist die Höhe der Entgelte bislang nicht vorgeschrieben, sondern wird vielmehr dem Wettbewerb der Netzbetreiber überlassen.

Für den Endverteilerbereich wird der Netzzugang in Form einer Endverteilerbriefmarke entgolten, die ein Arbeitsentgelt, Leistungsentgelt und das Entgelt für Systemdienstleistungen enthält.

**Tabelle 1-1** enthält die in die in Anlage 3 der Verbändevereinbarung (/ 25 /) vorgeschlagenen Entgelte auf der Endverteilungsstufe.

**Tabelle 1-1:** Netzzugangsentgelte auf der Endverteilungsstufe

Jahresmenge kWh	Arbeitspreis Pf/kWh	Benutzungs- stunden	Mischpreis Pf/kWh
1.000.000	0,471	4000	1,124
10.000.000	0,319	4500	0,832
100.000.000	0,166	5000	0,342
200.000.000	0,120	6000	0,260

Arbeitspreis: Entgelt =  $13 - 0,7 \ln(x)$  in Pf/m<sup>3</sup>; x in m<sup>3</sup>

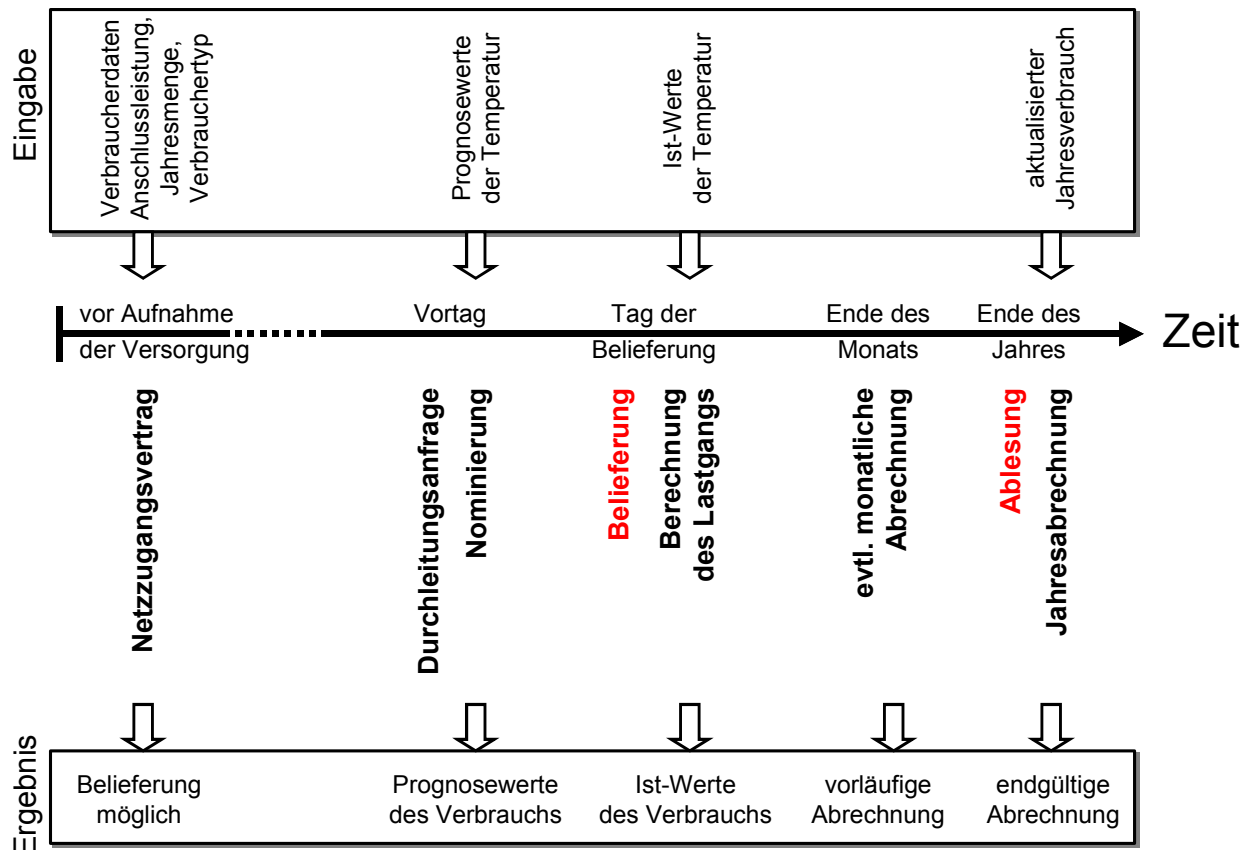
Funktion gilt bis zu einer Menge von 1 Mrd. kWh/a

Leistungspreis: Entgelt =  $280 - 0,17 z$  in DM/m<sup>3</sup>/h; z in m<sup>3</sup>/h

Für Leistungen über 1100 m<sup>3</sup>/h gilt: LE = 93 DM/m<sup>3</sup>/h

[Brennwert] 10,57 kWh/m<sup>3</sup>

**Bild 1-3** gibt einen zeitlichen Überblick über die notwendigen Schritte und die zeitgleich auftretenden Ein- und Ausgabegrößen vor, während und nach einem Durchleitungsfall eines nicht leistungsgemessenen Verbrauchers. Die Einigung bezüglich des Netzzugangs kann zeitfern vor einem Durchleitungsvorgang erfolgen, sie ist ganz links aufgeführt. Notwendige Eingaben bei diesem Vorgang sind die Verbraucherdaten wie Anschlussleistung, Jahresmenge oder Verbrauchertyp.



**Bild 1-3:** Zeitliche Abfolge eines Durchleitungsvorganges

Zeitnah zur Belieferung des Kunden, spätestens am Vortag der Versorgung, wird der Händler eine Durchleitungsanfrage an den Netzbetreiber richten. Diese enthält im Normalfall in stündlicher Auflösung die Angabe der Mengen, die übertragen werden (Nominierung). Im Bereich der nicht leistungsgemessenen Kunden ist eine spätere Nachnominierung nicht vorgesehen. Vorhandene Übertragungskapazitäten müssen nach dem Prinzip *first ordered – first served* zunächst demjenigen zukommen, dessen Anfrage zuerst eingegangen ist. Insbesondere eine Bevorzugung des „eigenen“ Handelsbereichs muss vermieden werden. Eine Ablehnung von Durchleitungsersuchen ist zudem nur in bestimmten Fällen - zum Beispiel auf Grund einer Engpasssituation im Netz - erlaubt.

Am Tag der Belieferung werden die beim Kunden ausgespeisten Gasmengen, im Fall der Lastprofilverbraucher mittels Lastprofil, bestimmt. Auf Grund unterschiedlicher Einflüsse wird es nahezu immer zu Abweichungen zwischen ausgespeisten Mengen und der Nominierung kommen. Nominiert der Händler auf der Grundlage der Lastprofile mittels Prognoserechnung, werden diese vor allem auf Differenzen zwischen prognosti-

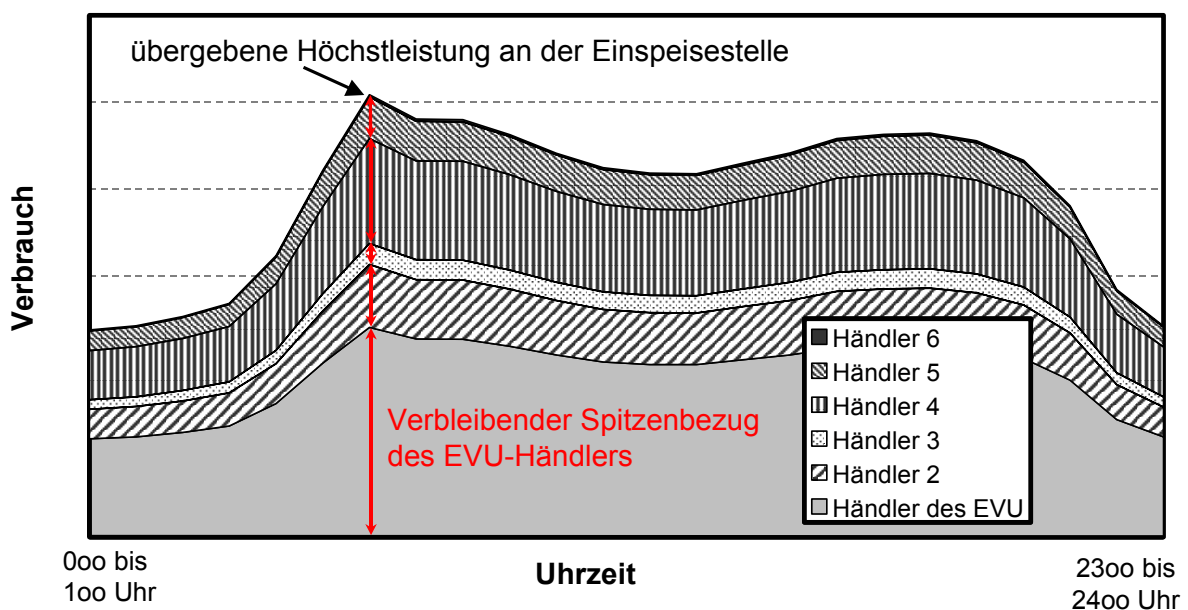
zierten und gemessenen Temperaturen zurückzuführen sein. Zu viel oder zu wenig bezogene Mengen, sogenannte Mehr- oder Mindermengen, werden vergütet beziehungsweise erstattet, wobei es zur Reduzierung wirtschaftlicher Risiken sinnvoll sein kann, Zwischenrechnungen, beispielsweise am Monatsende, auf Basis der getrennt saldierten Mehr- oder Mindermengen zu erstellen.

Zum Zeitpunkt der Ablesung erfolgt eine zusätzliche Nachberechnung mit dem aktualisierten Jahresverbrauch, die die Identität zwischen Lastprofil- und Jahresablesewerten wieder herstellt.

### 1.3.2 Handel

Im Handelsbereich hat die Durchleitung von Fremdkunden vor allem Auswirkungen im Verhältnis mit dem Vorlieferanten. Für die an der Einspeisestelle gemessenen übertragenen Gasmengen muss eine Allokation zu den sie verursachenden Händlern erfolgen. **Bild 1-4** verdeutlicht dies an einem Beispiel. Neben dem Handelsbereich des EVU teilt sich die Transportmenge auf weitere 5 Händler auf. Da die Entgelte gegenüber dem vorgelagerten Netzbetreiber vor allem durch die übergebene Höchstleistung (Stunden- oder Tagesmittelwert) bestimmt werden, ist besonders die Aufteilung zu diesem Zeitpunkt entscheidend.

Für das dargestellte Beispiel wurde jedoch ein Idealfall unterstellt, nämlich die Einspeisung in das Versorgungsnetz über lediglich eine Übergabestelle mit definiertem Gasfluss. In der Praxis finden sich jedoch häufig Konstellationen mit mehreren Übergabestellen, netzinternen Erzeugern oder Speichern, wodurch sich die Situation unter Umständen sehr viel komplexer gestalten kann. Denkbar ist beispielsweise auch, dass Abrechnungen einzelner Händler entgegen dem physikalischen Gasfluss stattzufinden haben, insbesondere, wenn es in Zukunft zu einem deutlich höheren Anteil von Fremdversorgern kommt als dies heute der Fall ist.



**Bild 1-4:** Allokation der Gasmengen

#### 1.4. Der Einsatz von Lastprofilen

Vor diesem Hintergrund der sich verändernden Energiemärkte muss die Erstellung von Lastprofilen verstanden werden:

- Verbraucher erhalten die Möglichkeit, sich von Fremdversorgern beliefern zu lassen. Hierzu ist die Durchleitung der von diesen fremdversorgten Verbrauchern bezogenen Gasmengen durch die Gasnetze erforderlich.
- Um eine verursachergerechte Festlegung der damit verbundenen Entgelte zu gewährleisten, ist die zeitlich hochaufgelöste Kenntnis (Stundenwerte) um den Verlauf der Bezugsleistung der Verbraucher erforderlich.

Für die große Gruppe der Kleinkunden scheidet jedoch aus wirtschaftlichen Gründen eine registrierende Leistungsmessung aus. An ihre Stelle muss ein belastbares Verfahren treten, das die Aufteilung des Jahresverbrauchswertes auf Tage und Stunden erlaubt.

- Lastprofile stellen ein solches Verfahren dar, in dem auf Basis von Messdaten Aussagen über das statistische Verhalten von nach Merkmalen gruppierten Verbrauchern abgeleitet werden. Notwendige Voraussetzung ist dabei ein einfaches Verfahren, das mit minimalen Anforderungen an die zu erhebenden Verbraucherdaten auskommen muss, um die Anwendungskosten zu minimieren und die geforderte Diskriminierungsfreiheit zu gewährleisten. Hier besteht ein Konflikt zur wünschenswerten Maximierung der Abbildungsgenauigkeit, die nur durch eine Leistungsmessung erreicht werden kann. Zwischen diesen beiden Forderungen wurde mit dem hier vorgestellten Verfahren ein Kompromiss gefunden.

## 2. Definitionen und Festlegungen

### 2.1. Energiewirtschaftliche Kenngrößen

Die signifikanten energiewirtschaftlichen Kenndaten eines Verbrauchers aus Sicht des Energieversorgers sind die unterschiedlichen zeitlichen Aggregationen (zumeist Jahres-, Tages- und Stundenwerte) des Verbrauchs und die Leistung zu verschiedenen Zeitpunkten, worunter in der Gaswirtschaft die im Gas enthaltenen Wärmengen bzw. Wärmemengen pro Zeiteinheit zu verstehen sind.

Dabei wird die Leistung durch Mittelung eines Arbeitswertes über der Messdauer ermittelt

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}.$$

mit:  $Q = V_N \cdot H_o,$

wobei:  $V_N$ : auf Normbedingungen umgerechnetes Volumen (gemäß ISO 13443: 273 K, 1013,25mbar / 26 /) in Normkubikmetern ( $m^3_N$ , manchmal auch „Nm<sup>3</sup>“)

$H_o$ : auf das Normvolumen bezogener oberer volumetrischer Heizwert (kWh/  $m^3_N$ )

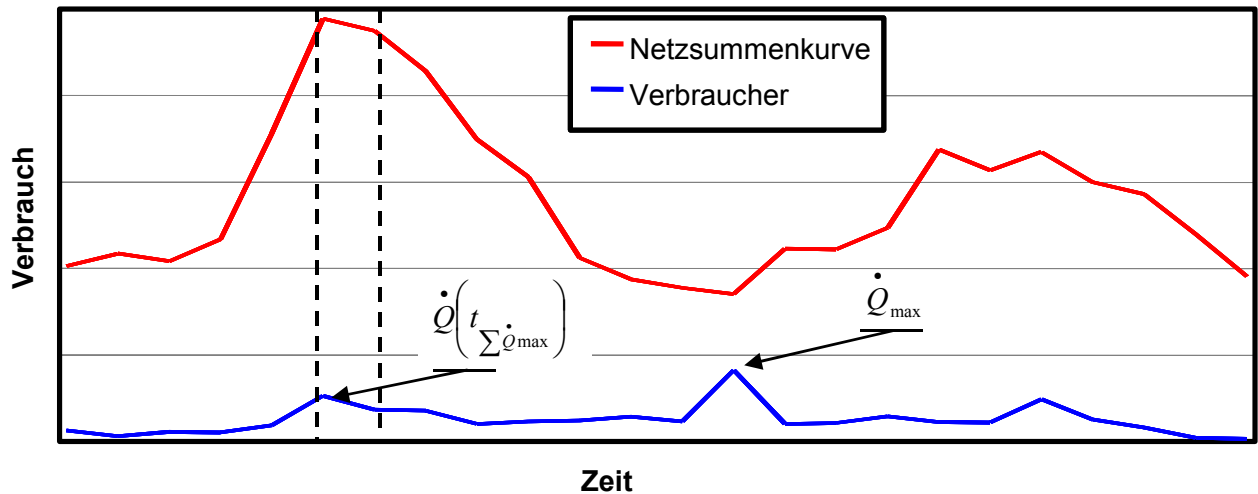
Aus historischen Gründen stellt dabei in der Stromwirtschaft die kleinste abgebildete Zeiteinheit die Viertelstunde, in der Gaswirtschaft die Stunde dar. Deshalb wird nachfolgend als Leistung meist ein durchschnittlicher Stundenwert verstanden.

Die Bilanzierung von Tages- und Jahreswerten folgt in der Gaswirtschaft traditionell nicht dem kalendarischen Tag und Jahr. Typischerweise wird das Gasjahr von Anfang Oktober eines Jahres bis Ende September des Folgejahres bilanziert. Der sogenannte Gastag kann je nach Gasversorgungsunternehmen unterschiedliche Stunden beinhalten. Am verbreitetsten ist der Gastag „von 6<sup>00</sup> bis 30<sup>00</sup> Uhr“, also von 6<sup>00</sup> Uhr morgens bis 6<sup>00</sup> Uhr des Folgetages. Dieser Bilanzierung wird auch im vorliegenden Verfahren gefolgt.

Von den in der vorliegenden Arbeit betrachteten Kleinkunden ist in den meisten Fällen aus der letzten Ablesung der Jahresverbrauch  $Q_{Jahr}$  bekannt. Da häufig rollierend abgelesen wird, ist jedoch oft auch ersatzweise der Verbrauch eines etwas längeren oder kürzeren Zeitraums angegeben; ein Verfahren zur Umrechnung wird nachfolgend noch beschrieben. Die Aufteilung dieses Jahreswertes auf Verbrauchswerte mit kleinerer zeitlicher Basis ist zentrales Ziel des Verfahrens.

Wird der Verbraucher aus dem Blickwinkel des versorgenden Netzes betrachtet, ist neben den unterschiedlichen Aggregationsformen seines Verbrauchs die Leistung in Form seiner maximal bezogenen oder bezieharen Leistung von Interesse. Daneben, jedoch mit weniger Priorität, muss die momentane Bezugsleistung zu jedem Zeitpunkt ermittelbar sein. Die maximale Leistung bestimmt die zu reservierende Netzkapazität und wirkt sich dadurch fast immer direkt auf die Preisgestaltung von Durchleitungsverträgen aus.

Außerdem kann, wie in **Bild 2-1** stark vereinfachend dargestellt, abweichend von der maximalen Leistung des Einzelverbrauchers  $\dot{Q}_{\max}$  sein Bezug zum Zeitpunkt der Netzspitze  $\dot{Q}\left(t_{\sum\dot{Q}_{\max}}\right)$  von Interesse sein, da hier die verfügbare Netzkapazität für den Netzbetreiber sich als besonders „wertvoll“ darstellt.  $\dot{Q}\left(t_{\sum\dot{Q}_{\max}}\right)$  kann jedoch nur versorgungsnetzspezifisch ermittelt werden.



**Bild 2-1:** Maximaler Bezug und Beitrag zur Netzspitzenlast

Eine obere Grenze für  $\dot{Q}_{\max}$  bildet die installierte Leistung  $\dot{Q}_{inst}$ . Sie bestimmt sich durch die von den installierten Gasverbrauchseinrichtungen maximal beziehbare Gasmenge. Da ihre Bestimmung für jeden Einzelverbraucher äußerst aufwändig ist, bietet sich die Annäherung mittels des Anschlusswertes an, dessen Bestimmung durch tabellarische und graphische Verfahren im Arbeitsblatt 600 des DVGW-Regelwerkes / 27 / beschrieben wird. Dabei werden vereinfachende Annahmen bezüglich der installierten Geräte und Gleichzeitigkeiten getroffen:

$$\dot{Q}_{Anschl} = f_H \sum \dot{Q}_{Anschl,H} + f_D \sum \dot{Q}_{Anschl,D} + f_R \sum \dot{Q}_{Anschl,R} + f_U \sum \dot{Q}_{Anschl,U} + f_G \sum \dot{Q}_{Anschl,G}$$

mit  $f$ : Gewichtungsfaktoren nach graphischem Verfahren (Gleichzeitigkeiten)

Indizes:

- H: Herde, Backöfen
- D: Durchlaufwarmwasserheizer
- R: Raumheizer, Vorratswasserheizer
- U: Umlaufwasserheizer, Kombiwasserheizer
- G: gewerblich genutzte Geräte

Abweichend von dieser einheitlichen Regelung wird oftmals fälschlicherweise der Anschlusswert auf Basis des durch den Haushaltsanschluss- Leitungsquerschnitt begrenzten maximal übertragbaren Volumenstroms  $\dot{Q}_{HA}$  angegeben.

Da Versorgungsanschlüsse jedoch häufig nach anderen Kriterien dimensioniert werden, sind daraus resultierend verlässliche Angaben oder Abschätzungen der installierten Leistung in den seltensten Fällen möglich und entfallen de facto als Instrument zur Plausibilisierung.

Hier kann eine Abschätzung mit Hilfe der Ausnutzungsdauer  $T_A = Q_{Jahr} / \dot{Q}_{inst}$  als Quotient aus Jahresverbrauch und Normwärmebedarf, für die typische Werte / 16 /, / 51 / angebar sind, Ersatz liefern. In vielen Fällen ist unter Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren auch die Benutzungsdauer eines Verbrauchers  $T_B = Q_{Jahr} / \dot{Q}_{max}$  hilfreich.

## 2.2. Nomenklatur

Grundsätzlich kann die Klassierung von Verbrauchern nach sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. Gesamtwirtschaftliche Betrachtungen verwenden meist die Kriterien Verbrauchsmenge, spezifische Verbrauchswerte sowie Verbrauchsart. Einige Bezeichnungen der eingeteilten Verbrauchergruppen werden dabei in verschiedenen Quellen unterschiedlich benutzt. In der vorliegenden Arbeit sind die nachstehenden Begriffe wie folgt verwendet:

*Haushalte und Kleinverbraucher* werden nach Konvention gemäß / 41 / verstanden. Diese Gruppe umfasst:

- Private Haushalte,
- Anstaltshaushalte,
- Öffentliche Einrichtungen,
- Wasserwerke,
- Gewerbebetriebe einschließlich der industriellen Betriebe mit weniger als 10 Beschäftigten,
- Wäschereien und chemische Reinigungen,
- Bauhauptgewerbe,
- Handwerksbetriebe,
- Geschäftsgebäude und Räume gewerblicher Art,
- Handelsunternehmen,
- Landwirtschaft

Die Verwendung des Begriffs *Betriebsgrößenklasse* (BGK) wird in Anlehnung an / 3 / verstanden:

- BGK 1: Betriebe mit bis zu 4 Beschäftigten
- BGK 2: Betriebe mit 5 bis 9 Beschäftigten
- BGK 3: Betriebe mit mehr als 9 Beschäftigten (im produzierenden Gewerbe bis 19 Beschäftigte, übrige Branchen unbegrenzt).

Die Einteilung und Benennung der *Branchen* und *Kategorien* lehnt sich ebenfalls an / 3 / an und basiert somit auf der Systematik des Statistischen Bundesamtes / 45 /, / 46 /, / 47 /.

Bilanz-Verbrauchsposten der verwendeten statistischen Veröffentlichungen werden übernommen und entsprechen der neuesten Systematik des statistischen Bundesamtes / 47 /.



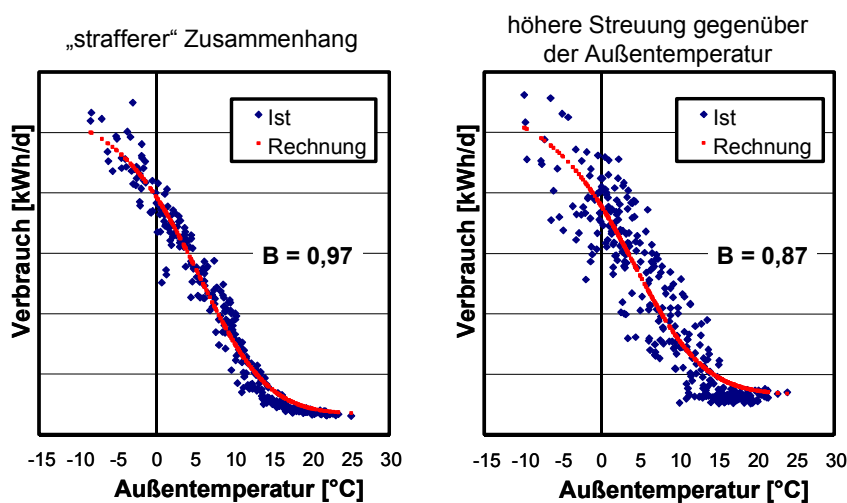
### 2.3. Statistische Kenngrößen

Lastprofile als Mittel zur Abbildung von Verbraucheraggregationen (Kollektiven) können prinzipiell nur die strukturell bedingte Komponente des Verbrauchsgangs nachbilden, also die auf der Verbrauchsstruktur sowie den äußeren Einflussfaktoren beruhenden Anteile. Für Aggregationen von  $N < \infty$  Verbrauchern werden diese jedoch überlagert durch individuell bedingte Verbrauchsanteile, welche stochastisch schwanken und nicht mittels Lastprofil abbildbar sind. Somit ist eine Identität zwischen individuellem Verbrauchs- und kollektivem Lastprofilgang in der Praxis nicht zu erwarten und wäre rein zufälliger Natur. Umso wichtiger ist eine differenzierte Betrachtung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Belastbarkeit mit Hilfe statistischer Methoden (/ 2 /, / 5 /).

Das *Bestimmtheitsmaß* ist ein Maß für die „Straffheit“ des Zusammenhangs zwischen zwei Größen. Es berechnet sich wie folgt:

$$B = \frac{\left( \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i - n \cdot \bar{a} \cdot \bar{b} \right)^2}{\left( \sum_{i=1}^n a_i^2 - n \cdot \bar{a}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n b_i^2 - n \cdot \bar{b}^2 \right)}$$

Das Bestimmtheitsmaß bewertet, mit welcher statistischen Sicherheit eine Änderung einer Größe a auf eine entsprechende Änderung einer zweiten Größe b zurückzuführen ist. Es kann Werte zwischen 0 (keine Abhängigkeit) bis 1 (direkte Abhängigkeit) annehmen. Somit kann im Vergleich zweier Abbildungsalternativen deren Qualität wiedergegeben werden: Steigt für den selben Verbraucher das Bestimmtheitsmaß durch Variation der Methodik, ist die Abbildung mit höherem Bestimmtheitsmaß vorzuziehen. Für den Vergleich unterschiedlicher Verbraucher hingegen ist diese Größe nur ungenügend geeignet. **Bild 2-2** verdeutlicht dies an Hand der Darstellung des Tagesverbrauchs zweier Haushaltskollektive über der Außentemperatur. Auf Grund nicht der Abbildungsfunktion zuzuordnender Einflussfaktoren (Verbraucherverhalten,



**Bild 2-2:** Beispiele hoher und niedriger „Straffheit“ des Verbrauchs gegenüber der Außentemperatur

Speicherfähigkeit, Messgenauigkeit der Größen etc.) zeigt der im rechten Bild dargestellte Verbraucher ein höher streuendes Verbrauchsverhalten als der im linken Bild dargestellte. Dies spiegelt sich direkt im Bestimmtheitsmaß wider, obwohl die abbildende Funktion strukturell gleich gut geeignet ist.

Offensichtlich ist die Bewertung dieser Streuung jedoch essentiell zur Abschätzung möglicher Abbildungsrisiken. Diese Qualität wird durch die Standardabweichung wiedergegeben, die die Abweichung der einzelnen Messwerte zum Mittelwert berücksichtigt.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

mit:  $\bar{x}$ : Mittelwert;  $N$ : Anzahl der Messwerte

Prinzipiell bedingt kann dabei nur der Weg beschritten werden, mit Hilfe endlicher Stichproben auf die Verlässlichkeit der Grundgesamtheit zu schließen. Um eine Bewertung der Abbildungsfunktion über den gesamten Erfahrungsbereich zu ermöglichen, bietet sich für das Beispiel aus Bild 2-2 eine Ermittlung der Standardabweichung nach Temperaturklassen an. Die Ergebnisse hierzu werden nachfolgend noch ausführlich vorgestellt. Wie aus der Berechnungsvorschrift zu erkennen ist, ist die zweite wesentliche Einflussgröße neben der Abweichung die Anzahl der eingebundenen Messwerte.

Aus der Standardabweichung lassen sich mit Hilfe der Student'schen Prüfgröße  $t$  Aussagen bezüglich der statistischen Sicherheit  $S$  der Methodik und der Ergebnisse ableiten.

$$S = f(t; N)$$

$$t = \frac{|\bar{x} - \mu|}{s_x} \sqrt{N} \quad \text{mit: } \mu : \text{Mittelwert der Grundgesamtheit}$$

Mit diesem Werkzeug sind unterschiedliche statistische Tests durchführbar. Bezüglich der Methodik ist insbesondere die Überprüfung der gefundenen Einteilungen und Klassierungen von Interesse. Mittels t-Test lässt sich hierzu beispielsweise die Richtigkeit der Hypothese, dass die Einteilung von Verbrauchern in zwei Kategorien strukturell begründet ist, überprüfen. Die statistische Sicherheit  $S$ , mit der sich ausschließen lässt, dass die zwei Datenmengen aus der selben Grundgesamtheit entstammen, ist dann abhängig von der gewogenen Standardabweichung beider Stichproben und der gewogenen Prüfgröße  $t$ .

$$S = f(t; N)$$

$$\text{mit: } t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2}}; \bar{x}_1, \bar{x}_2, N_1, N_2 : \text{Mittelwerte und Umfang beider Stichproben}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{s_1^2(N_1 - 1) + s_2^2(N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}}; s_1, s_2 : \text{Standardabweichungen beider Stichproben}$$

Bei einer statistischen Sicherheit von 0 % lässt sich folglich keine gesicherte Aussage bezüglich der beiden Stichproben treffen, bei 100 % kann eine Zusammengehörigkeit der Werte ausgeschlossen werden. Die Anwendung dieser Tests wird ausführlich in Kapitel 7.3 beschrieben.

Neben der Bestätigung der Methodik lässt sich mittels statistischer Verfahren die Belastbarkeit der Ergebnisse quantifizieren. Eine anschauliche Möglichkeit hierfür bildet insbesondere der *Vertrauensbereich*. Er gibt den Bereich um den Mittelwert  $\bar{x}$  an, in dem der „wahre“ Erwartungswert mit einer zugesicherten Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Meist wird er durch seine halbseitige Streubandbreite  $V_s$ , wie nachstehend dargestellt, abgebildet.

$$V_s = t(S; n) \frac{s}{\sqrt{N}}$$

die Berechnungen und Ergebnisse zum Vertrauensbereich finden sich ebenfalls in Kapitel 7.3 sowie im Anhang ab Seite 129.

### 3. Stichprobenauswahl und Datengrundlage

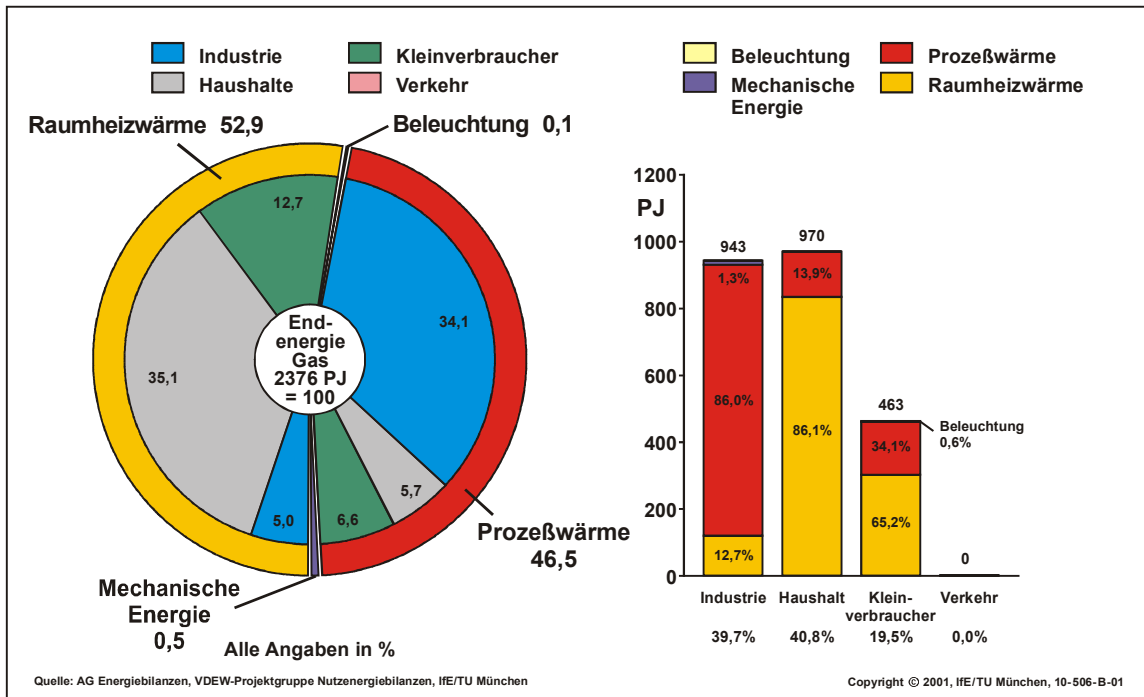
#### 3.1. Abgrenzung

Bei der Behandlung von Verbrauchern bezüglich Netzzugang und Durchleitung ist zwischen Kleinkunden (ohne registrierende Leistungsmessung) und leistungsgemessenen Kunden zu unterscheiden. Die Abbildung der Kleinkunden mittels Lastprofil kann hierbei nur aus wirtschaftlichen Gründen der naturgemäß sehr viel genaueren leistungsregistrierenden Messung vorzuziehen sein. Gemäß der Vereinbarungen der Verbände trägt die Kosten für Erstellung, Betrieb und Instandhaltung technischer Mess-, Regel- und Übertragungseinrichtung der (Durchleitungs-)Kunde. Die Ablesung, Auswertung und andere Systemdienstleistungen gehen zu Lasten des Netzbetreibers. Vor dem Hintergrund des Handels der verbundenen Unternehmungen, von deren Kunden bislang für die Durchleitung keine entsprechende Messung gefordert wurde, haben die wirtschaftlichen Gründe jedoch entscheidende Bedeutung hinsichtlich der zu fordernden Diskriminierungsfreiheit.

#### 3.2. Kleinkunden in der BRD

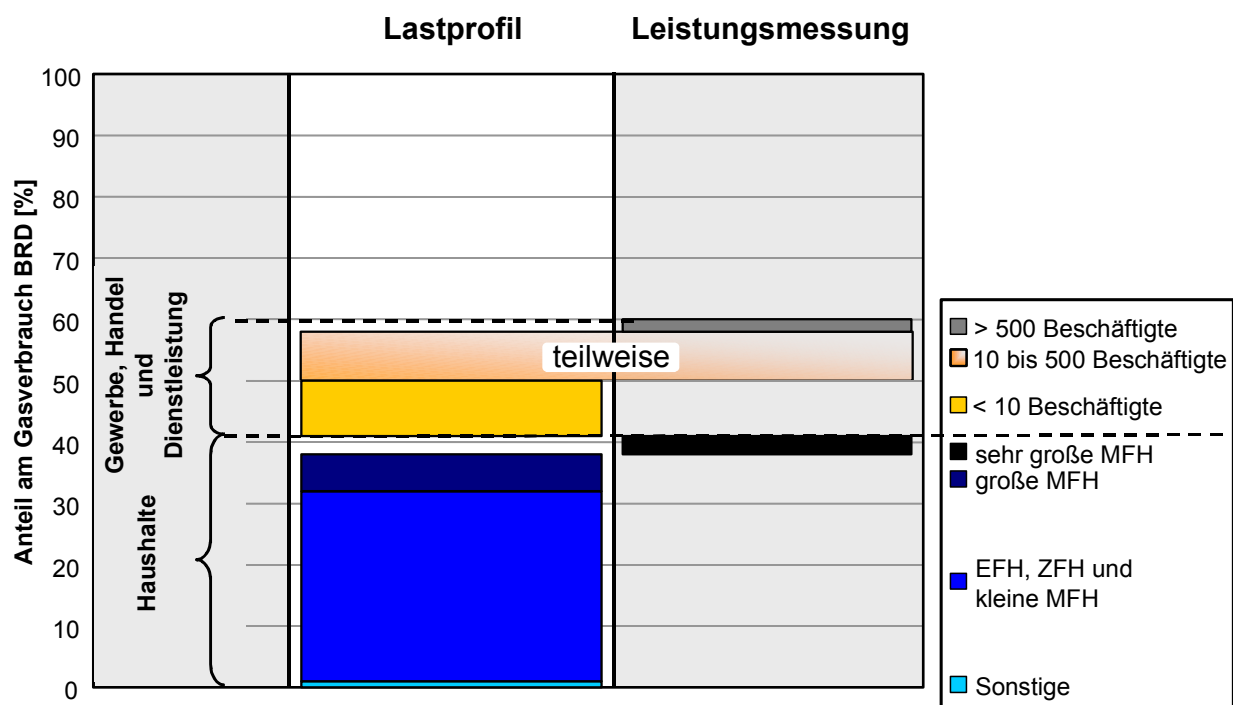
Im Jahr 2000 wurde in Deutschland Erdgas im Umfang von 2376 PJ Endenergie Gas verbraucht (/ 40 /). Rund 53 % davon machte der Bedarf zur Deckung der Raumheizwärme aus, wovon wiederum der größte Teil (835 PJ) von den privaten Haushalten bezogen wurde, was etwa 35 % der gesamten Gasendenergie entspricht. Mit rund 13 % (302 PJ) bilden die Kleinverbraucher die zweitgrößte Gruppe der Gasheizwärme-Verbraucher. Die beiden Verbrauchergruppen weisen außerdem einen Erdgasverbrauch zur Deckung von Prozessenergie (inklusive Warmwasser) von zusammen 293 PJ (circa 12 %) auf (vgl. **Bild 3-1**).

Die Gruppe der leitungsgebunden versorgten Kleinkunden setzt sich somit hauptsächlich aus zwei Teilbereichen zusammen: Haushaltskunden bis zu einer gewissen Jahresbezugsmenge sowie Betriebe mit relativ geringem Verbrauch aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung (G/H/D).



**Bild 3-1:** Aufteilung des Gasverbrauchs auf Verbrauchersektoren und Bedarfsarten in Deutschland 2000 / 40 /

Eine Eingrenzung der potentiell für eine Lastprofilabbildung in Frage kommenden G/H/D-Betriebe, wie in **Bild 3-2** dargestellt, wurde in / 17 / erstellt.



**Bild 3-2:** Anteil der potentiellen Lastprofilkunden.

Von dem rund sechzigprozentigen Anteil der Haushalts- und Kleinverbraucher am Gesamtgasverbrauch kommen etwa 80 bis 90 % für eine Lastprofilabbildung in Frage. Generell nicht geeignet sind sehr große Mehrfamilienhäuser mit einem durchschnittlichen Verbrauch von über 250 MWh/a und Betriebe mit über 500 Beschäftigten. Zusätzlich ergibt sich in der Gruppe der Betriebe mit 10 bis 500 Beschäftigten ein Verbraucheranteil, der ebenfalls mittels Leistungs-

messung zu erfassen sein wird; dieser Anteil richtet sich nach wirtschaftlichen Berechnungen. Für industrielle Betriebe empfiehlt sich hingegen auf Grund ihrer Verbrauchsmenge sowie ihrer strukturell andersartigen Verbrauchszusammensetzung fast immer die Einrichtung einer registrierenden Messung.

Eine weitere Untergliederung der beiden Teilbereiche ist wegen der hohen Diversität unerlässlich. Dabei sollte eine Einteilung stets zu größtmöglicher Homogenität innerhalb der Gruppen bei gleichzeitig größtmöglicher Heterogenität zwischen voneinander abgegrenzten Gruppen führen.

### **Haushaltskunden**

Der Gasbezug von Haushalten wird, wie Bild 3-1 zeigt, dominiert durch den Raumheizwärmebedarf. Hinzu kommt der Verbrauch zur Versorgung mit Warmwasser sowie zu geringen Teilen zum Kochen. Somit kommen dem Stand der wärmetechnischen Ausstattung sowie der Lage des Gebäudes und seiner Geometrie zentrale Bedeutung bezüglich des Gasbezugs zu.

Der Gesamtbestand in der BRD lässt sich durch folgende Ereignisse gliedern:

- 1957     DIN 4108 (Wärmeschutz im Hochbau) wird wirksam
- 1977/78   I. Wärmeschutzverordnung
- 1984     II. Wärmeschutzverordnung
- 1995     III. Wärmeschutzverordnung
- 2002     Energieeinsparverordnung

Bei den nach 1957 erstellten Gebäuden kommen zu den durch die Vorschriften bedingten Standards unterschiedliche, auch freiwillige Maßnahmen der Ertüchtigung hinzu, die nur für den Einzelfall bewertet werden können. Außerdem haben detaillierte Untersuchungen (/ 13 /) gezeigt, dass auch innerhalb der Gültigkeitszeiträume der unterschiedlichen Verordnungen und Normen die Umsetzung der Vorschriften in den Bestand nicht vollständig verzögerungsfrei erfolgt. Problematisch sind zudem die seit 1989 mit zu erfassenden neuen Bundesländer. Aus diesen Gründen verbietet sich für eine allgemeine bundesweite Betrachtung ein zu hoher Detaillierungsgrad. Untersucht man, wie in Kapitel 7.3 vorgestellt, die Kategorienbildung mit Hilfe statistischer Verfahren, zeigt sich, dass eine Unterteilung in nur zwei Baualtersklassen

- Altbau vor 1978
- Neubau ab 1978

zufrieden stellende Ergebnisse erzielt. Der zusätzliche Gewinn an Abbildungssicherheit, der durch eine weitergehende Differenzierung erreicht werden kann, ist gering. Entscheidend ist hingegen, dass der tatsächliche wärmeschutztechnische Standard der Gebäude der Zuordnung zum Baualter entspricht, was eine kritische Bewertung bei der Anwendung erfordert.

Wesentliche Einflussgrößen auf die Verbrauchsstruktur sind zudem die Versorgungstechnik, die Nutzung durch die Bewohner, die Gebäudegeometrie, die Lage des Gebäudes (Eck-, Zentrallage oder freistehend) u. V. m.. Eine so detaillierte Erfassung von Kundendaten ist jedoch für eine kollektive Abbildung nicht zu leisten. Mit der Unterscheidung der Gebäude nach Gebäudetypen (Ein- oder Mehrfamilienhaus, wobei Zweifamilienhäuser wie Einfamilienhäuser behandelt wurden) wird aber ein Großteil dieser Kriterien gruppierend erfasst. So weisen Mehrfamilienhäuser durchschnittlich einen deutlich höheren Anteil an Zirkulationsversorgung

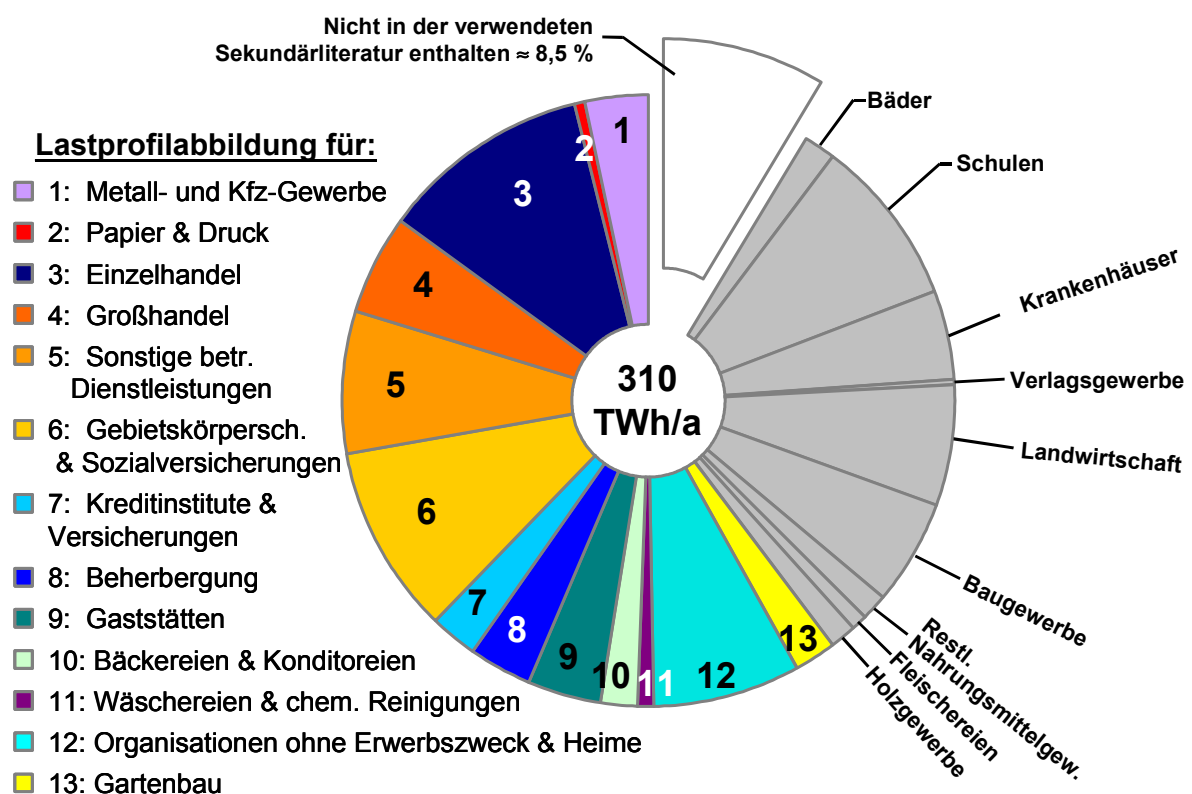
auf, ihre Heizungsregelungen müssen anders eingestellt werden („Anpassung an das schwächste Glied“) und das A/V-Verhältnis ist durchschnittlich sehr viel geringer, als dies bei Einfamilienhäusern der Fall ist.

### Kunden aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung (G/H/D)

Für die Gruppe dieser Kunden ergeben sich wesentliche Unterscheidungskriterien durch vorhandenen Prozessenergieeinsatz sowie branchenspezifische Einflüsse auf den Verbrauchsgang wie Öffnungszeiten, Raumtemperaturen etc.

Da die Vielzahl an Branchen in Kombination mit allen möglichen besonderen Gepflogenheiten in Teilbereichen unabbildbar wäre, muss eine Auswahl der abzubildenden Verbrauchertypen sich an der Relevanz bezüglich einer Abbildung für die Durchleitung orientieren. Hierzu konnte sehr detaillierte Sekundärstatistik / 3 / zum Brennstoffverbrauch bei Betrieben aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung in Deutschland herangezogen werden.

Wie **Bild 3-3** zeigt, betrug der Endenergieverbrauch an Brennstoff inklusive Fernwärme der Kleinverbraucher in der BRD etwa 310 TWh/a. Davon wurden etwa 8,5 % in der verwendeten Sekundärstatistik nicht detailliert analysiert. Diese sind mit Betrieben aus den Bereichen *Bekleidung, Handelsvermittlung, Post, Telekom, Deutsche Bahn, Binnenschifffahrt, Flughäfen, Speditionen, Straßenbeleuchtungen* und *militärische Einrichtungen* jedoch größtenteils für eine Lastprofilabbildung uninteressant, sei es auf Grund des Verbrauches, sei es auf Grund ihrer zu geringen gaswirtschaftlichen Bedeutung oder einer zu geringen Homogenität solcher Verbrauchergruppen.



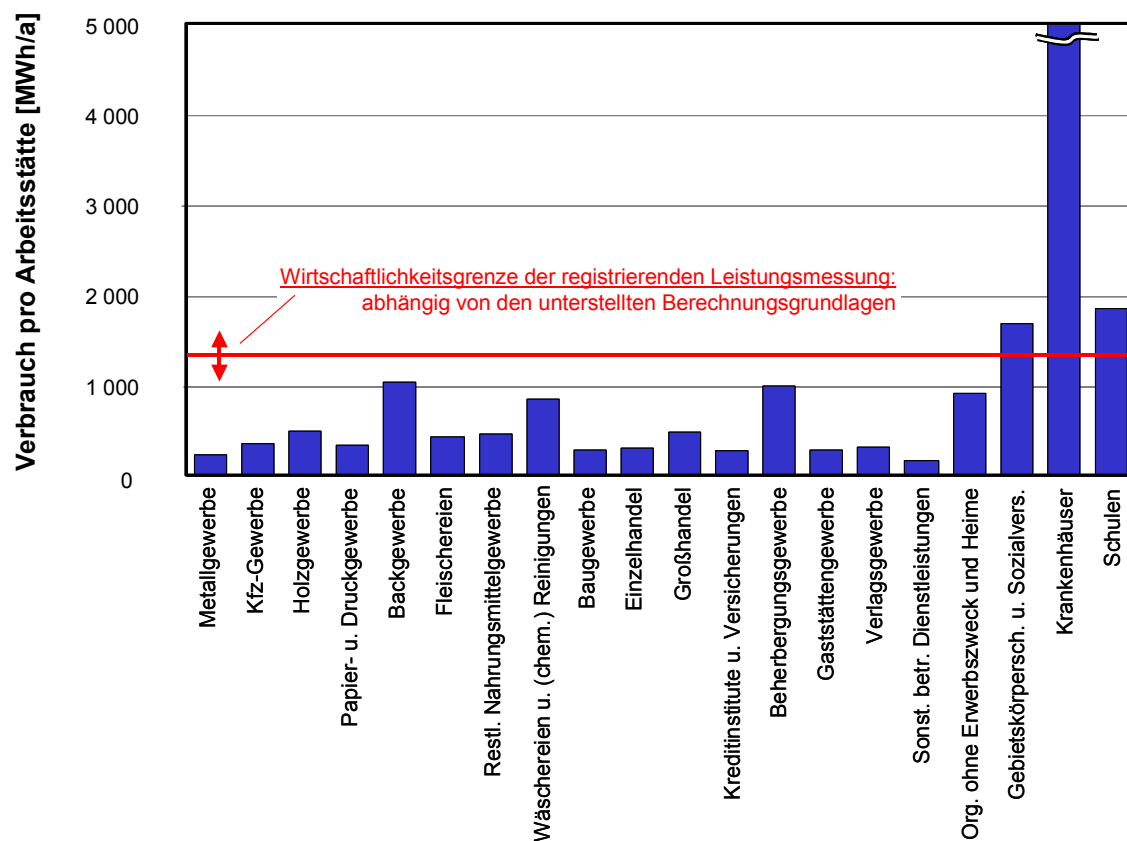
**Bild 3-3:** Verteilung des Brennstoffverbrauchs der Kleinverbraucher in Deutschland (/ 3 /)

Aus dem verbleibenden Anteil des Kleinverbrauchs wurden 13 Kategorien ausgewählt, die hinsichtlich einer Abbildung mittels Lastprofil als besonders relevant eingestuft wurden. Somit wurde aus dem Bereich Kleinverbrauch etwa 60 % des Endenergieverbrauchs an Brennstoff

(inklusive Fernwärme). Die Auswahl der Kategorien erfolgte nach energiestatistischen Gesichtspunkten. Dabei konnte umfangreiches repräsentatives Datenmaterial genutzt werden (/ 3 /).

Neben anderen Aspekten wurden vor allem vier Kriterien untersucht. Detaillierte Grafiken hierzu sind dem Anhang ab Seite 98 zu entnehmen.

- Der jährliche Brennstoffverbrauch der verschiedenen Branchen diene als Maß für die gesamtenergiewirtschaftliche und –wirtschaftliche Bedeutung. Branchen mit niedrigem Gesamtverbrauch rechtfertigen den Aufwand zur Erstellung eines eigenen Standard-Lastprofils nicht.
- Die Untersuchung der Anzahl der Arbeitsstätten grenzte die Menge möglicher Durchleitungsfälle ein. Branchen mit einer Vielzahl von Betrieben sind bezüglich einer Lastprofilabbildung bedeutsamer.
- Gleichzeitig steht die Abbildung mittels Lastprofil in Konkurrenz zu einer registrierenden Leistungszählung. Da Kosten für eine Messung weitgehend vom Jahresverbrauch der Arbeitsstätte unabhängig sind, das wirtschaftliche Risiko einer Lastprofilabbildung mit dem Jahresverbrauch jedoch steigt, ergibt sich eine maximale Wirtschaftlichkeitsgrenze, wie in **Bild 3-4** schematisch angedeutet. Die absolute Höhe dieser Grenze ist stark von den unterstellten Berechnungsgrundlagen abhängig.
- Der flächenspezifische Verbrauch der Arbeitsstätten schließlich gab Hinweise auf den Einsatz von Prozessenergie. Während Branchen, die Gas ausschließlich zu Temperierungszwecken einsetzen, sich strukturell ähneln, ist der Prozessenergieeinsatz meist mit sehr abweichenden Verbrauchsmustern verbunden.



**Bild 3-4:** Verbrauch pro Arbeitsstätte

Eine Zusammenfassung der abgeleiteten Schlussfolgerungen bezüglich der Eignung für die Lastprofilabbildung unter Einbeziehung weiteren Hintergrundwissens ist in **Tabelle 3-1** dargestellt. Grau hinterlegt dargestellt sind Branchen, die nicht in die Erfassung einbezogen wurden.

**Tabelle 3-1:** Auswahl der abzubildenden Kategorien

'..' bis '++' : 'sehr ungeeignet' bis 'sehr geeignet'	Brennstoff- verbrauch der Branche	Anzahl der Arbeitsstätten	Verbrauch pro Arbeitsstätte	Verbrauch pro Fläche
Metallgewerbe	+	+	+	0
Kfz-Gewerbe	-	-	+	0
Holzgewerbe	-	-	+	0
Papier- u. Druckgewerbe	-	-	+	0
Backgewerbe	+	-	+	++
Fleischereien	-	-	+	+
Restl. Nahrungsmittelgewerbe	-	-	+	+
Wäschereien u. (chem.) Reinigungen	-	-	0	++
Baugewerbe	+	+	+	0
Einzelhandel	++	++	+	0
Großhandel	+	0	+	0
Kreditinstitute u. Versicherungen	+	0	+	0
Beherbergungsgewerbe	+	0	0	0
Gaststättengewerbe	+	+	+	0
Verlagsgewerbe	-	-	+	-
Sonst. betr. Dienstleistungen	+	++	+	0
Org. ohne Erwerbszweck und Heime	+	0	+	0
Gebietskörpersch. u. Sozialvers.	++	0	+	0
Krankenhäuser	+	-	--	
Schulen	++	-	--	

Diese Bewertung führte zur Bildung der in **Tabelle 3-2** aufgelisteten Kategorien. Für den Gartenbau lagen die oben aufgeführten spezifischen Kennwerte nicht vor. Trotzdem wurde er in die Untersuchungen einbezogen, da hier ein hoher spezifischer Prozessenergieeinsatz zu vermuten war. Das Metallgewerbe und das Kfz-Gewerbe sind sich, wie nachfolgend noch gezeigt wird, im Verbrauchsgang sehr ähnlich und wurden deshalb bei den Ergebnissen größtenteils zusammengefasst.

**Tabelle 3-2:** Kategorien aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung

1 Metallgewerbe	7 Kreditinstitute & Versicherungen
Kfz-Gewerbe	8 Beherbergungsgewerbe
2 Papier & Druck	9 Gaststättengewerbe
3 Einzelhandel	10 Bäckereien & Konditoreien
4 Großhandel	11 Wäschereien & chem. Reinigungen
5 Sonstige betriebliche Dienstleistungen	12 Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime
6 Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen	13 Gartenbau

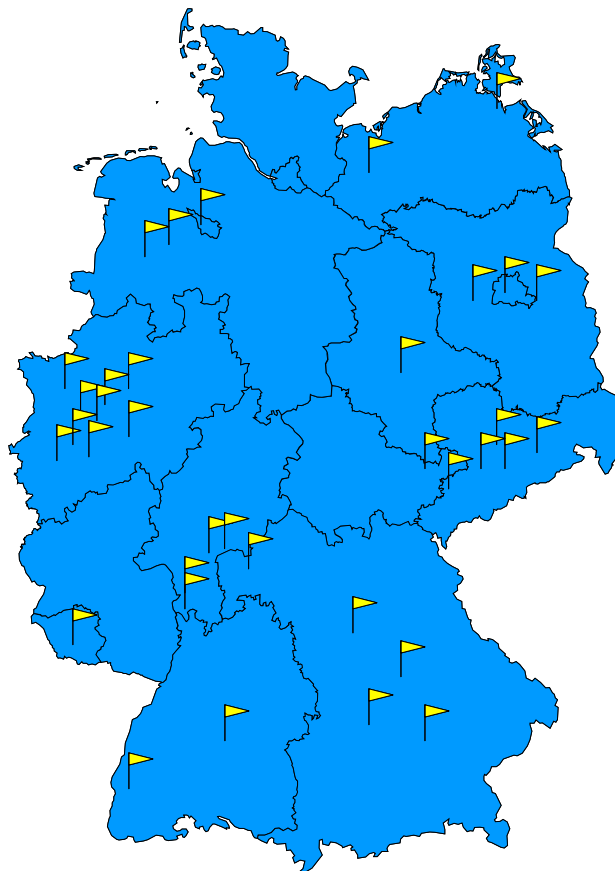


Mit den in Bild 3-3 grau dargestellten Branchen konnten für neun Kategorien keine Daten in die Auswertung mit einbezogen werden. Aus diesen Verbrauchergruppen kommt jedoch nur ein kleiner Anteil für eine Lastprofilabdeckung in Frage: die Betriebe der Landwirtschaft zum Beispiel sind selten für eine leitungsgebundene Versorgung mit Erdgas erschlossen, Krankenhäuser oder Schulen weisen hohe Jahresverbrauchswerte auf. Für andere Branchen sind die entwickelten Profile mit leichten Adaptionen anwendbar. Beispielsweise besteht der Verbrauch des Baugewerbes meist in der Beheizung der Büros, ein Profil, wie es u.a. durch die Gebietskörperschaften und Sozialversicherungen zur Verfügung steht. Hier muss unter Umständen eine Adaption gemäß der Geschäftszeiten erfolgen.

### 3.3. Datengrundlage

**Bild 3-5** gibt die geographische Verteilung in Deutschland der an der Datengewinnung beteiligten Unternehmen wieder. Die dargestellte breite Abdeckung des gesamten Bundesgebietes war wesentliche Anforderung an die Datengrundlage. Dadurch wurde sichergestellt, dass

- die entwickelten Lastprofile den gesamten Anwendungsbereich annähernd äquivalent abbilden.
- regionale oder soziodemographische Unterschiede gestreut und somit nicht untypisch in die Untersuchung eingingen.
- nicht explizit abgebildete Einflussfaktoren nicht ungleich verteilt das Ergebnis verfälschten.



**Bild 3-5:** Sitz der an der Datengewinnung beteiligten Gasversorgungsunternehmen

Wesentliche Anforderung an die Datensätze war zudem aus offensichtlichen Gründen eine bestmögliche Klassifizierbarkeit der erfassten Verbraucher. Für alle Verbraucherkategorien lagen eindeutig zuordenbare Datensätze vor. Da die Messdaten aus allen Teilen Deutschlands von unterschiedlichen Versorgungsunternehmen stammten, war hierzu die Angabe möglichst detaillierter Zusatzinformationen für die Einteilung der Verbraucher wesentlich.

Die Messdaten enthielten die Verbrauchswerte in stündlicher Auflösung. Zusätzlich wurden Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes bezogen und zugespielt.

Datenstruktur					
	$\vartheta_A$	6 <sup>00</sup> - 7 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup> - 8 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup> - 9 <sup>00</sup>	. . .
Tag 1	-7	150	130	50	
Tag 2	-3	110	100	40	
Tag 3	-4	135	105	45	
Tag 4					
.					
.					
.					

Temperatur
Bezug  
(Tageswerte)
(Stundenwerte)

**Bild 3-6:** Beispiel: Datenstruktur in Tabellenform

Für Haushalte konnte grundlegend auf Kollektivmessungen aufgebaut werden, d.h. es wurde an Ausspeiseknoten gemessen, die viele gleichartige Verbraucher zusammenfassten und somit das bereits stochastischen Vergleichmäßigkeiten unterliegende Verhalten eines Kollektivs von Einzelverbrauchern wiedergaben. Dadurch wurde der notwendige Messaufwand entscheidend verringert, da ohne diese Möglichkeit die Erfassung etwa der zwanzigfachen Anzahl von Messstellen notwendig geworden wäre, um ähnlich gesicherte Aussagen treffen zu können.

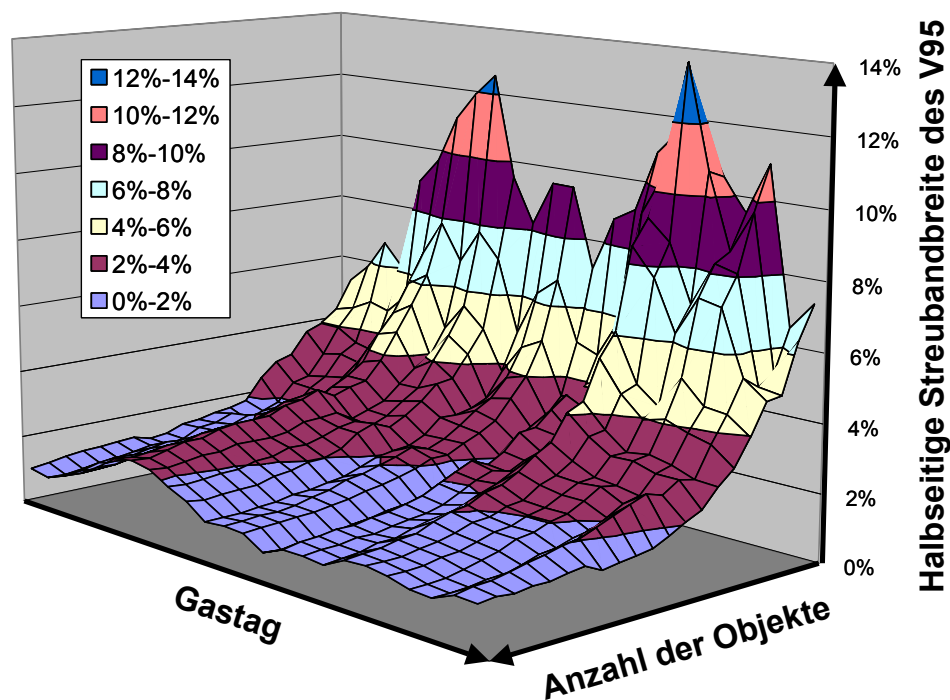
Anders stellte sich die Situation im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung dar. Eine örtliche Ansammlung mehrerer gleichartiger Verbraucher tritt hier praktisch nicht auf, so dass ausschließlich Einzelmessungen verarbeitet wurden.

Aus dem Bereich Haushalte standen über 20 Haushaltskollektive zur Verfügung, die jeweils den Verbrauch von mindestens 20 Einzelkunden umfassten. Hinzu kamen zahlreiche Einzelerfassungen, die ergänzend in die Untersuchungen einfließen.

Für die Verbraucher aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung standen über 130 Messdaten von einzelnen Betrieben aller Betriebsgrößenklassen zur Verfügung.

### 3.4. Stichprobenumfang und –charakter

Neben Verbrauchertyp und anderen Einflussgrößen ist die statistische Tragfähigkeit ermittelter Ergebnisse abhängig von der Anzahl der in die Untersuchungen eingebundenen Verbraucher. Die Ursache hierfür ist der schwindende Einfluss individuell streuenden Verhaltens mit Zunahme der Kollektivgröße. In **Bild 3-7** wird dieser Zusammenhang an Hand der Aggregation von 22 Einzelverbrauchern des Verbrauchertyps Haushalte untersucht. Grundlage ist die Erfassung des Verbrauchsgangs eines Kollektivs von 22 Einfamilienhäusern neueren Baualters über ein Jahr. Im dargestellten Fall wurde sowohl der Gang des Kollektivgesamtverbrauchs als auch die Bezugswerte aller einzelnen Gebäude aufgezeichnet sowie alle relevanten klimatischen Einflussgrößen ortsnah erfasst, weswegen sich das Kollektiv in besonderer Weise für Untersuchungen eignet.



**Bild 3-7:** Statistische Sicherheit in Abhängigkeit der Kollektivgröße

Einfamilienhaus Neubau – Temperaturbereich 0 °C bis –5 °C

Als beschreibende Größe dient die halbseitige Streubandbreite des fünfundneunzigprozentigen Vertrauensbereichs der Stundenwerte (Gastag „6<sup>00</sup> bis 30<sup>00</sup> Uhr“). Wie deutlich zu erkennen ist, weist der Vertrauensbereich bei der Kollektivierung sehr weniger Messobjekte hohe Streubandbreiten auf. Ab einer Größenordnung von etwa 15 Einzelverbrauchern sinkt, abhängig vom betrachteten Kollektiv und Verbrauchertyp, der Gradient der statistischen Sicherheit deutlich, so dass ab dieser Aggregierungsstärke verlässlich von einem „Kollektiv“ gesprochen werden kann. Dies deckt sich mit den Erfahrungen früherer Untersuchungen / 4 /. Soweit die kollektive Untersuchung von Verbrauchern möglich war, wurden deshalb mit einem gewissen „Zuschlag“, der der Absicherung dieser Entscheidungsgrundlage geschuldet wurde, Messungen mit einer Kollektivgröße von mehr als 20 Einzelverbrauchern eingebunden.

## 4. Zusammensetzung des Energiebezugs

### 4.1. Verbrauchsanteile

Der Erdgasverbrauch in den Bereichen Haushalte und Kleinverbrauch wird dominiert von den Verbrauchsarten Raumheizwärme und Prozessenergie (inklusive Warmwasser).

Während der Prozessenergieeinsatz bei den meisten untersuchten Verbrauchern während des ganzen Jahres annähernd konstant war, ist auf Grund des Gasverbrauchs zur Deckung der Raumheizwärme ein starker Einfluss der Klimabedingungen am Verbrauchsort zu unterstellen. Strukturell setzt sich dabei dieser Verbrauch aus dem Saldo der Posten Transmission, Lüftung und Kesselverluste zusammen. Außerdem sind innere und solare Gewinne zu berücksichtigen (vgl. zum Beispiel / 1 /, / 6 /, / 14 /). Diese Einflüsse sind komplex und weder voneinander, noch von den übrigen wirksamen Einflussfaktoren (Ausstattung, Versorgungsumfang) unabhängig. Trotzdem lassen sich vereinfachend wesentliche Zusammenhänge beschreiben.

#### 4.1.1 Transmission

Transmissionswärmeverluste finden an der gesamten Außenhülle des Gebäudes durch Wärmeübergang vom wärmeren Innenraum zur Umgebung statt:

$$Q_{\text{Transmission}} = U \cdot A \cdot (\vartheta_{\text{innen}} - \vartheta_{\text{außen}}) \cdot t$$

U: Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m<sup>2</sup>·K)]

A: Wärmeübergangsfläche [m<sup>2</sup>]

$\vartheta_{\text{innen, außen}}$ : Innen-/ Außentemperatur [°C]

t: betrachteter Zeitraum [h]

Qualitativ besitzen die Transmissionswärmeverluste somit eine negativ lineare Abhängigkeit zur Außentemperatur (vgl. **Bild 4-1**).

#### 4.1.2 Lüftung

Lüftungswärmeverluste sind im betrachteten Bereich der Haushaltsverbraucher vor allem bestimmt durch die manuelle Betätigung der Fenster. Im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung kommen maschinelle Gebäudelüftungssysteme hinzu. Die Verluste berechnen sich zu:

$$Q_{\text{Lüftung}} = n \cdot V \cdot c_L \cdot \rho_L \cdot (\vartheta_{\text{innen}} - \vartheta_{\text{außen}}) \cdot t$$

mit n: Luftwechselzahl [1/h]

V: beheiztes Volumen [m<sup>3</sup>]

$c_L, \rho_L$ : Wärmekapazität [kWh/(kg·K)] und Dichte [kg/m<sup>3</sup>] von Luft

$\vartheta_{\text{innen, außen}}$ : Innen-/ Außentemperatur [°C]

t: betrachteter Zeitraum [h]

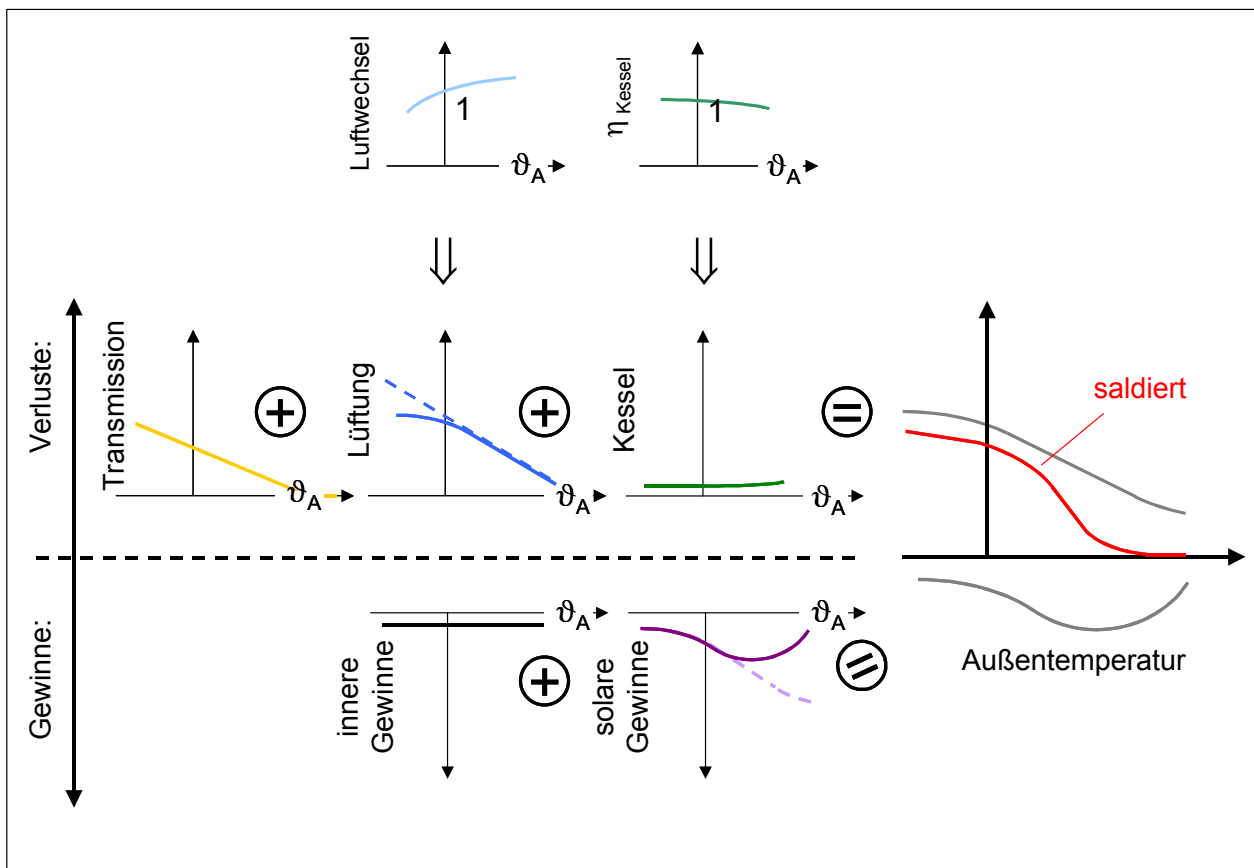
In Tagesaggregation ist folglich zunächst eine annähernd negativ lineare Abhängigkeit zu unterstellen. Da der Luftwechsel insbesondere beim Lüften über die Fenster keine außentemperaturunabhängige Größe darstellt (vgl. Bild 4-1), steigen die Lüftungsverluste unterproportional mit sinkender Außentemperatur. Der Grund liegt vor allem im Nutzerverhalten. Im Winter, bei kalter Außentemperatur, lässt sich deutlich vermindertes Lüften gegenüber wärmeren Temperaturbereichen feststellen / 18 /.

#### 4.1.3 Kesselwirkungsgrad

Die Umwandlungsverluste des Kessels sind, verglichen mit den vorangestellten Bilanzposten, deutlich geringer. Sie sind weitgehend konstant, steigen jedoch in geringem Umfang mit steigender Außentemperatur auf Grund der abnehmenden Auslastung des Kessels im Sommer.

Bild 4-1 fasst die Einflüsse der Verluste auf den Tagesverbrauch in Abhängigkeit der Außentemperatur zusammen und stellt sie dem Einfluss der Gewinne gegenüber.

Transmissions-, Lüftungs- und Kesselverluste wirken wie oben dargestellt verbrauchssteigernd. Die nachfolgend diskutierten inneren und solaren Gewinne führen zu dem skizzierten signifikanten Saldoverlauf. Während im Sommer sich auf Grund der Temperierung kein Verbrauch ergibt, steigt dieser mit sinkenden Außentemperaturen steil an und läuft für sehr niedrige Temperaturen gegen einen konstanten Wert.



**Bild 4-1:** Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der Außentemperatur

#### 4.1.4 Gewinne

Den zu deckenden Verlusten stehen energetische Gewinne in Form von inneren Wärmeeinträgen durch Bewohner, Geräte etc. sowie solare Gewinne gegenüber. Während die inneren Gewinne einen relativ kleinen, weitgehend konstant anzusetzenden Beitrag liefern, weisen die solaren Gewinne deutliche Schwankungen über das Jahr auf. Zu unterscheiden sind die reinen solaren Einträge sowie die davon nutzbaren solaren Gewinne. Auf Grund der geringeren direkten Einstrahlung im Winter steigen die solaren Einträge mit zunehmender Außentemperatur. Ab dem Übergangszeitbereich verbleibt mit steigenden Temperaturen jedoch ein immer geringer werdender nutzbarer Anteil der solaren Einträge, der Rest muss zur Vermeidung von Übertemperaturen durch Verschattung beziehungsweise Austrag mittels Lüftung ungenutzt bleiben.

#### 4.1.5 Saldo

Die in Bild 4-1 dargestellte Resultierende des Tagesverbrauchs ist strukturell typisch für alle Verbrauchertypen, die temperaturabhängige Verbrauchsanteile aufweisen. Grob lassen sich drei Bereiche unterscheiden. Bei warmen Außentemperaturen über etwa 15 bis 18 °C sinkt der Verbrauch zu Null ab. Darunter steigt der Verbrauch mit fallender Außentemperatur steil an. Bei negativen Außentemperaturen steigt der Verbrauch weiter, jedoch mit deutlich reduzierter Steigung. Zusätzlich wird ab Erreichen der Auslegungstemperatur (je nach Standort ab -10 °C bis -24 °C / 32 /) die installierte Leistung erreicht, ab der der Verbrauch nicht weiter ansteigen kann. Für eine kollektive Betrachtung bedeutet dies die Annäherung an einen Sättigungswert.

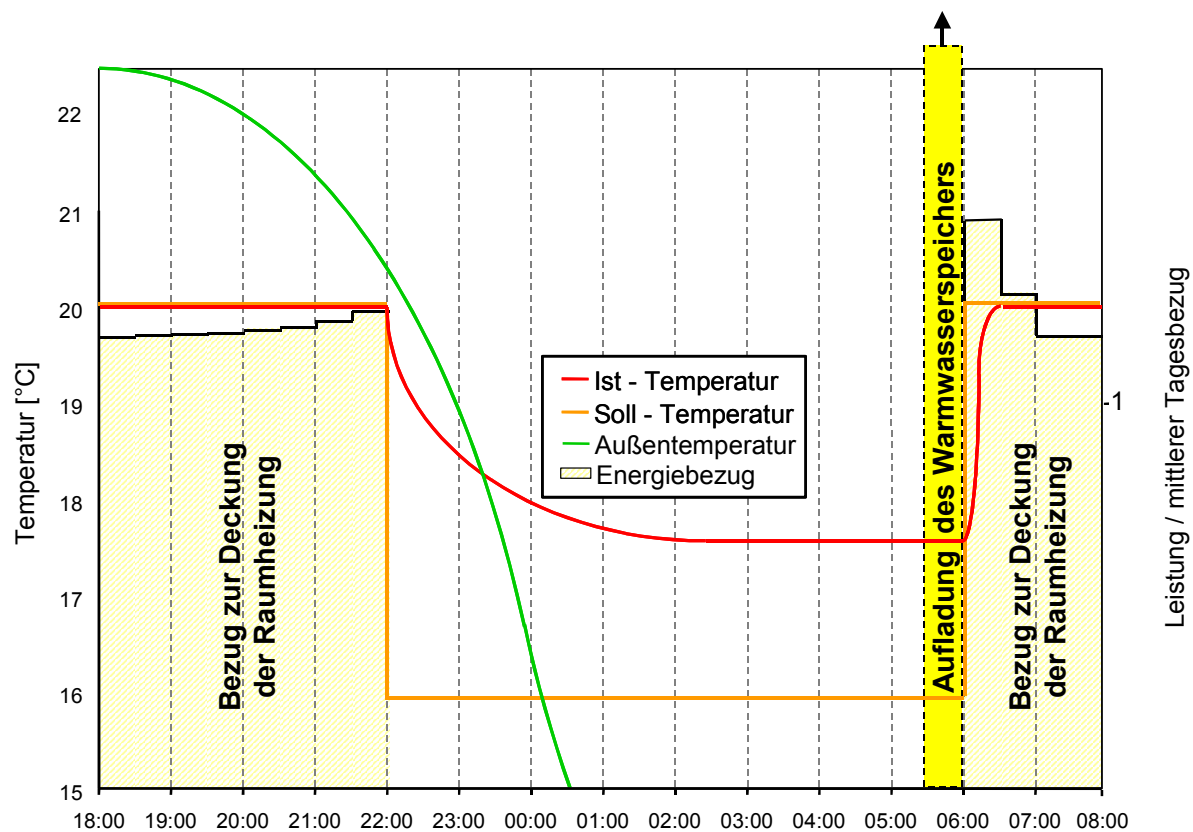
#### 4.1.6 Prozessenergie

Je nach Verbrauchertyp kommt zu den oben dargestellten Einflussfaktoren ein Bedarf zur Deckung von Prozessenergie hinzu. Bei Haushaltsverbrauchern stellt dieser vor allem Warmwasser- sowie eventuell Kochgasverbrauch dar. Im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung können branchen- und/oder kundenspezifische Anteile (zum Beispiel durch die Öfen eines Bäckers) hinzukommen. Im Allgemeinen hat sich der Prozessenergiebedarf, soweit er identifiziert werden konnte, im betrachteten Verbraucherspektrum als weitgehend konstant gegenüber der Außentemperatur und anderen Klimaeinflüssen erwiesen, so dass zum diskutierten Verlauf ein „Basissockel“ hinzuzufügen ist.

#### 4.1.7 Stundenverlauf

Der Einfluss der Nachtabsenkung auf den Energieverbrauch wurde bereits 1975 in / 54 / beschrieben: der Vorgabe einer reduzierten Raum-Solltemperatur folgt die Ist-Temperatur im Zeitbereich der Nachtabsenkung, jedoch auf Grund der Speicherfähigkeit des Systems verzögert. Dadurch wird oftmals die abgesenkte Vorgabetemperatur nicht erreicht. In vielen Fällen wird dieser Effekt durch falsche Regelung der Anlage verstärkt / 55 /. Bei Aufhebung der Nachtabsenkung muss zur Erhöhung der Ist-Temperatur nicht nur der erhöhte Wärmebedarf aufgewendet werden, der sich bei stationärer Betrachtung errechnen ließe, sondern zusätzlich muss die dem System durch Entspeicherung entzogene Wärme wieder zugeführt werden, was zu einem erhöhten Bedarf und unter anderem der Herausbildung der Morgenspitze führt.

Auf Grund der Bilanzierung mit stündlicher Auflösung kann die tatsächlich auftretende Leistungsspitze noch erheblich über dem erfassten Spitzenwert liegen. Gerade bei zentral versorgten Haushaltsverbrauchern kommt morgens, meist zeitlich etwas vor der Heizspitze, der zusätzliche Verbrauch zur Erwärmung des Warmwasserspeichers hinzu, der bezüglich seiner Höhe gerade im warmen Temperaturbereich noch sehr viel ausgeprägter ausfallen kann, als dies in **Bild 4-2** angedeutet ist. Somit beginnt der Bezug während des Gastages meist mit einer deutlichen Morgenspitze, die im Verhältnis zum restlichen Tagesverbrauch im warmen Außen-temperaturbereich am deutlichsten zu Tage tritt.



**Bild 4-2:** Stundenverlauf während der Nachtabsenkung

Der Verlauf außerhalb der Nachtabsenkung ist geprägt durch das Nutzerverhalten (Anwesenheit, Lüftung etc.) und durch eventuell notwendige Speichernachladungen. Im kalten Temperaturbereich sind die letztgenannten, als Spitzen auftretenden Verbrauchsanteile weniger zu bemerken, da hier der höhere Raumheizwärmebedarf generell zu einem ausgeglicheneren Verbrauchsverlauf führt.

Zusätzlich zu diesem bei nahezu allen Verbrauchertypen beobachtbaren Heiz- und Warmwasserverbrauchsverlauf kommen bei Verbrauchern aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung branchenspezifische Verbrauchsanteile, beispielsweise durch Prozesseneinsatz, hinzu, die teilweise die hier dargestellten Verbrauchsanteile erheblich übersteigen, wie noch gezeigt wird.

## 4.2. Klimatische Einflussgrößen

### 4.2.1 Außentemperatur

Die Außentemperatur stellt auf Grund der Verbrauchszusammensetzung der betrachteten Verbrauchergruppen in den meisten Fällen den dominierenden Einfluss auf den Gasverbrauch dar. Je nach Art des Einflusses und der ihn bestimmenden Zeitkonstanten bilden verschiedene zeitliche Aggregationsformen der Außentemperatur diese Abhängigkeit optimal ab. So weisen beispielsweise die Transmissionswärmeverluste auf Grund der den Baumaterialien innewohnenden Wärmespeicherkapazitäten eine zeitliche Verzögerung gegenüber dem Gasverbrauch auf, so dass neben der aktuellen Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innentemperatur auch zurückliegende Zeitbereiche berücksichtigt werden sollten.

Um eine optimale Abbildung zu gewährleisten, wurden folgende Aggregationsformen für die Außentemperatur in Betracht gezogen und untersucht:

1. *arithmetisches Mittel*: arithmetisches Mittel aus 24 Stundenwerten der Außentemperatur
2. *vereinfachtes Mittel*<sup>1</sup>: gewichtetes Mittel (1:1:2) der Stundenwerte 7<sup>30</sup>, 14<sup>30</sup> und 21<sup>30</sup>
3. *2 Tage (arithmetisch)*: arithmetisches Mittel aus 48 Stundenwerten (Tag und Vortag)
4. *3 Tage (arithmetisch)*: arithmetisches Mittel aus 72 Stundenwerten (Tag, Vortag und Vorvortag)
5. *1\*Tag+0,5\*Vortag*: gewichtetes Mittel (1:0,5) aus dem Mittelwert des Tages und des Vortages
6. *geometrische Reihe*: gewichtetes Mittel (1:0,5:0,25:0,125) des aktuellen Tages und der vorangegangenen Tage; Abbruch nach dem vierten Tag
7. *Mittelwert 6:00 bis 20:00 Uhr*: arithmetisches Mittel der Stunden 6<sup>00</sup> bis 20<sup>00</sup> des Tages
8. *Mittelwert 21:00 bis 5:00 Uhr*: arithmetisches Mittel der Stunden 21<sup>00</sup> bis 5<sup>00</sup>

Die Temperaturaggregation 7 wurde untersucht, da zwischen 6:00 und 20:00 Uhr der Zeitraum der aufgehobenen Nachtabenkung bei zentralen Heizungsanlagen zu finden ist, wodurch ein besserer Zusammenhang erwartet wurde. Andererseits wurde in / 55 / gefunden, dass Heizungsregelungen oftmals so schlecht ausgeführt werden, dass eine Wirkung der Nachtabenkung in der Praxis nicht zu verzeichnen ist. Deshalb wurde im Gegenvergleich die Temperaturaggregation 8 als Gegenpart zu 7 mit dem Zeitraum zwischen 21:00 und 5:00 korreliert. Im Ergebnis ergeben sich jedoch Vorteile für Temperaturaggregation 7; die Nachtabenkung ist nicht generell zu vernachlässigen.

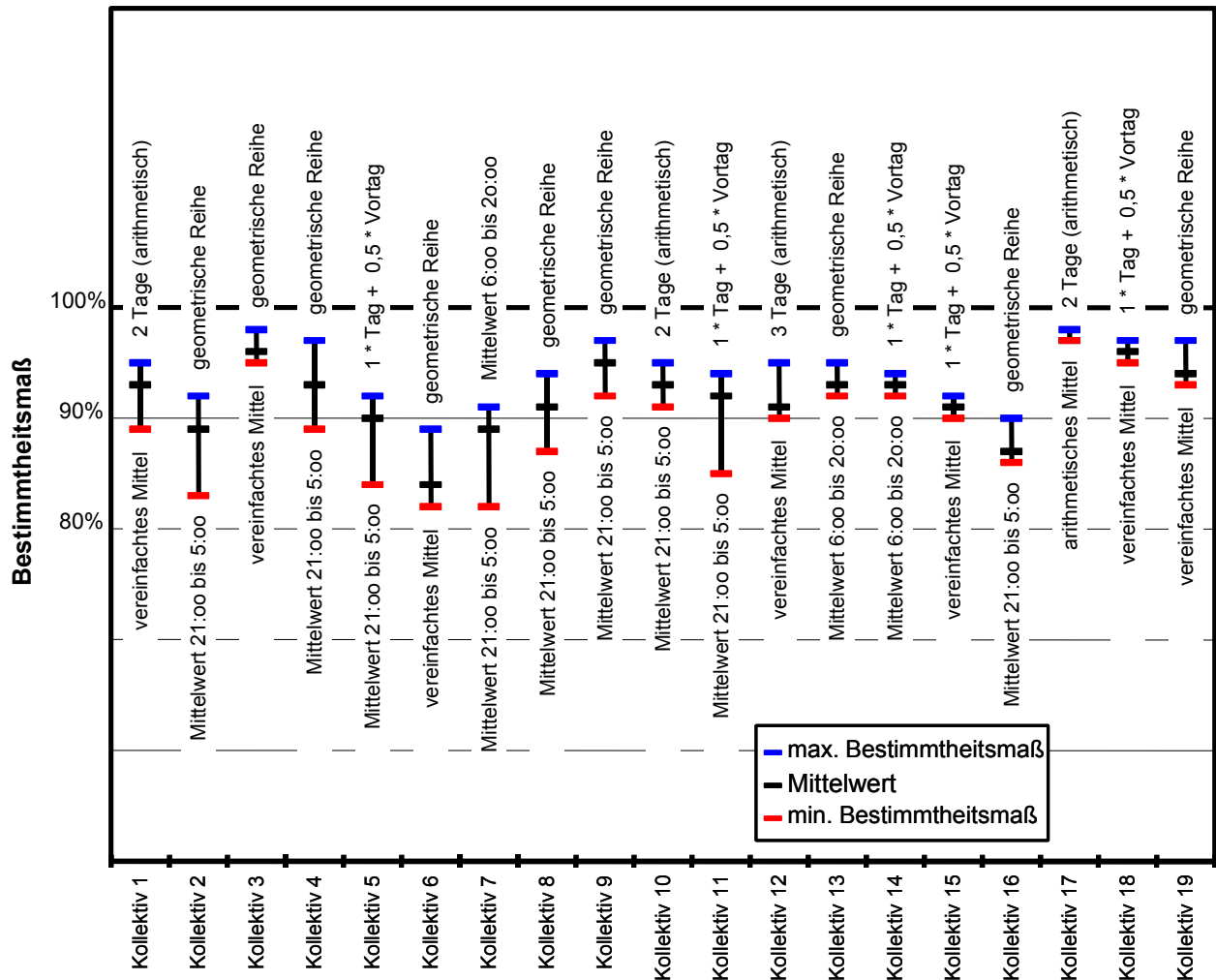
Für jedes der 19 Haushaltskollektive wurde mit dem Bestimmtheitsmaß die Abbildungsgüte der errechneten Verbrauchswerte ( $\bar{W}_{\text{Rechnung},i}$ ) gegenüber den erfassten Werten ( $\bar{W}_{\text{ist},i}$ ) ermittelt.

$$\mathbf{B} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \bar{W}_{\text{Rechnung},i} \cdot \bar{W}_{\text{ist},i} - N \cdot \bar{\bar{W}}_{\text{Rechnung}} \cdot \bar{\bar{W}}_{\text{ist}} \right)^2}{\left( \sum_{i=1}^n \bar{W}_{\text{Rechnung},i}^2 - N \cdot \bar{\bar{W}}_{\text{Rechnung}}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n \bar{W}_{\text{ist},i}^2 - N \cdot \bar{\bar{W}}_{\text{ist}}^2 \right)}$$

<sup>1</sup> Diese Annäherung für die Tagesmitteltemperatur wurde vom Deutschen Wetterdienst bis einschließlich April 2001 in den monatlichen Witterungsreports / 26 /) verwendet. Danach wurde zur Angabe des arithmetischen Mittels übergegangen.



Im Vergleich aller untersuchten Temperaturaggregationen stellt somit die Variante mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß das Abbildungsoptimum dar. **Bild 4-3** zeigt die Ergebnisse der untersuchten Kollektive in Form des maximalen und minimalen Bestimmtheitsmaßes, dass sich durch Abbildung mit den unterschiedlichen Temperaturaggregationen ergab. Zusätzlich ist die jeweilige Aggregationsform angegeben. Der bestmögliche Abbildungszusammenhang ergibt Werte des Bestimmtheitsmaßes zwischen knapp 90 % und deutlich über 95 %. Allerdings lassen auch die schlechtestmöglichen Abbildungsaggregationen die Werte nicht unter 80 % sinken. Der Mittelwert der Abbildung mit den 8 Temperaturaggregationen verdeutlicht die Lage des Maximums und Minimums.



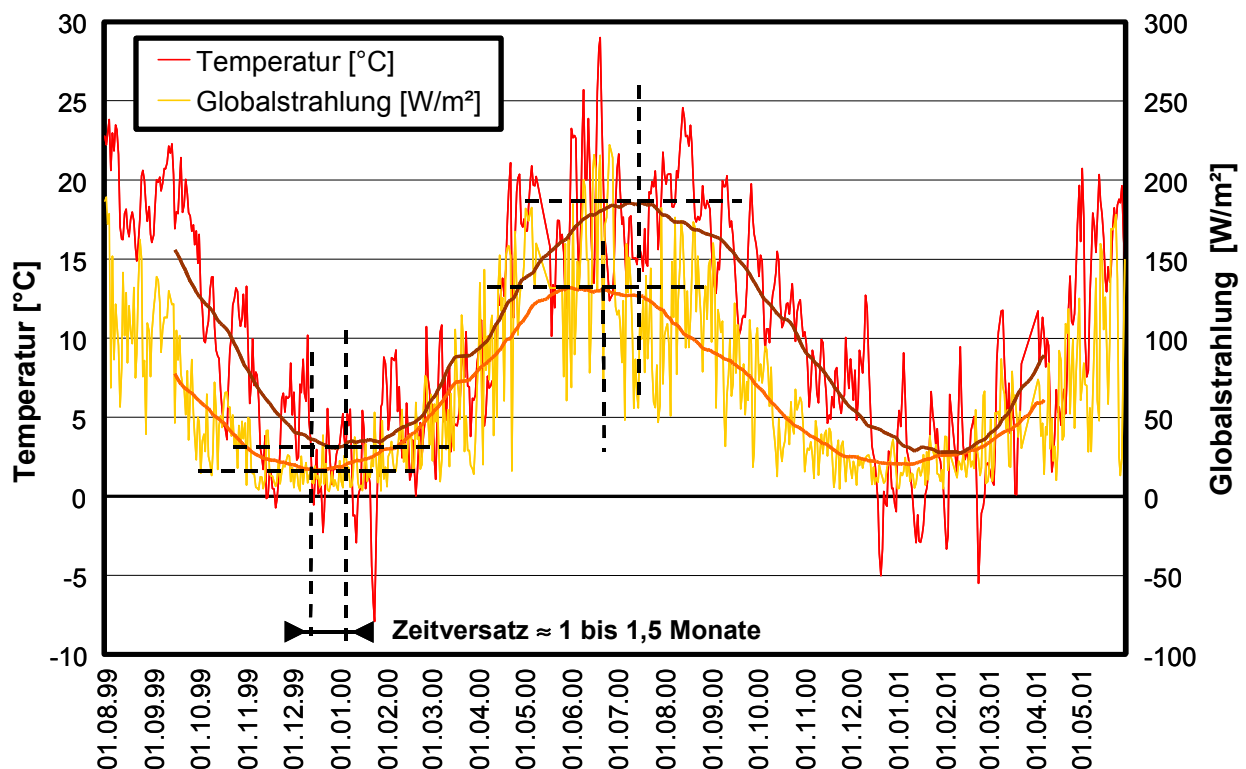
**Bild 4-3:** Bestimmtheitsmaß bei verschiedenen Aggregationsformen

Am Häufigsten erwies sich die Aggregationsform 6 – die geometrische Reihe – als beste Abbildung. Der Temperaturmittelwert der Stunden zwischen 21<sup>00</sup> und 5<sup>00</sup> Uhr (Aggregation 8) zeigte, wie erwartet, die schlechteste Abbildungskohärenz. Die gewichteten Temperaturaggregationen lagen am häufigsten optimal, die geometrische Reihe bildete bei neun Verbraucherkollektiven den Einfluss auf den Verbrauch am besten ab. Dies stimmt qualitativ mit Angaben aus der Literatur / 53 /, / 56 / überein.

#### 4.2.2 Strahlung und Wind

Die Strahlung der Sonne kann durch die zu erwartenden solaren Wärmegevinne, der Wind insbesondere auf Grund seines Einflusses auf den Luftwechsel wesentlichen Einfluss auf den Energiehaushalt von Gebäuden haben. Für die Untersuchung der Einflüsse konnten unter anderem Verbrauchsdaten von 22 Einfamilien-Neubauhäusern<sup>2</sup> herangezogen werden, bei denen ortsnah diese Größen aufgezeichnet wurden. Für eine Analyse der energetischen Auswirkungen auf die Lüftungswärmeverluste wurde eine Gewichtung der Windgeschwindigkeit mit der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur ( $\Delta\theta$ ) vorgenommen.

Die Regressionsrechnung als Mittel der Analyse stößt bei der Betrachtung von Größen, die nicht voneinander unabhängig sind, an Grenzen. Bei der mit der Temperaturdifferenz gewichteten Windgeschwindigkeit ( $v \cdot \Delta\theta$ ) ist eine Abhängigkeit von der Außentemperatur offensichtlich. Bei der Globalstrahlung hingegen ist diese Abhängigkeit nicht funktionell, sondern durch meteorologische Gegebenheiten bedingt. Generell weist sie, wie **Bild 4-4** für die betrachtete Siedlung zeigt, einen zeitlichen Versatz um etwa einen Monat auf.



**Bild 4-4:** Zeitlicher Verlauf der Außentemperatur und Globalstrahlung - Tagesmittelwerte

Aufgrund dieses relativ engen Zusammenhangs ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß für die Monatswerte von über 74 %. Bei Betrachtung von Tageswerten kommen jedoch kurzfristige Streuanteile hinzu, die in der gleichen Größenordnung wie die langfristigen Schwankungen ergeben. Dadurch ergibt sich, wie in **Tabelle 4-1** aufgeführt, für die Globalstrahlung gegenüber der Außentemperatur in Tagesaggregation ein Bestimmtheitsmaß von 51 %. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass es sich bei den im Folgenden untersuchten Einflussfaktoren nicht um unkor-

<sup>2</sup> Die Häuser dieser Siedlung erfüllen moderne Wärmeschutzanforderungen. Somit konnte unterstellt werden, dass sich die untersuchten Einflüsse hier deutlicher als im durchschnittlichen Baubestand identifizieren lassen.

relierte Größen handelt. In der Folge kann es bei einer Regressionsrechnung zu Falschbewertungen von Wirkungen dergestalt kommen, dass Einflüsse „auf Kosten“ anderer Größen überbewertet werden, es also zu einer Falschzuweisung von Einflusswirkungen kommt. Auf Grund der Größe der Einflüsse (die Außentemperatur bildet den absolut dominierenden Einfluss) steht dabei zu vermuten, dass sich eher eine Überbewertung der Einflussfaktoren Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit bemerkbar machen wird als umgekehrt.

**Tabelle 4-1:** Bestimmtheitsmaß der klimatischen Einflussgrößen zueinander

B	$\vartheta_A$	$E_G$	$v$	$v \cdot \Delta\vartheta$
$\vartheta_A$	1	0,514	0,021	0,261
$E_G$	0,514	1	0,023	0,157
$v$	0,021	0,023	1	0,721
$v \cdot \Delta\vartheta$	0,261	0,157	0,721	1

Trotz der vorangestellten Einschränkungen wurden die rechnerischen Wirkungen der Klimafaktoren ermittelt. Sie bilden eine Obergrenze der zu unterstellenden Einflüsse.

Die Zweifachregression, deren Ergebnisse in **Bild 4-5** dargestellt sind, bildet gemäß der Form

$$W = a_1 + b_1 \cdot \vartheta_A + c_1 \cdot E_G \quad \text{bzw.} \quad W = a_2 + b_2 \cdot \vartheta_A + c_2 \cdot v \cdot \Delta v_A .$$

mit: W: Verbrauch

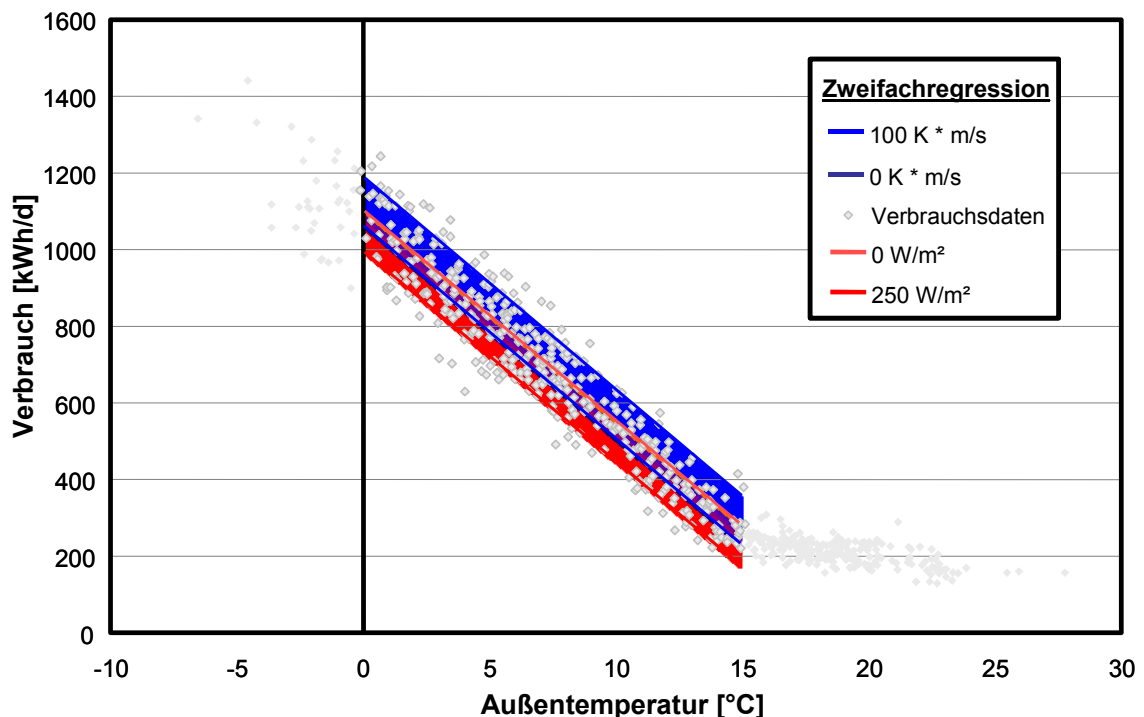
$\vartheta_A$ : Außentemperatur

$E_G$ : Globalstrahlung

$v$ : Windgeschwindigkeit

a, b, c: Regressionskoeffizienten

den Verbrauch einerseits gegenüber den Faktoren  $\vartheta_A$  und  $E_G$  sowie andererseits gegenüber den Faktoren  $\vartheta_A$  und  $v \cdot \Delta\vartheta_A$  ab.

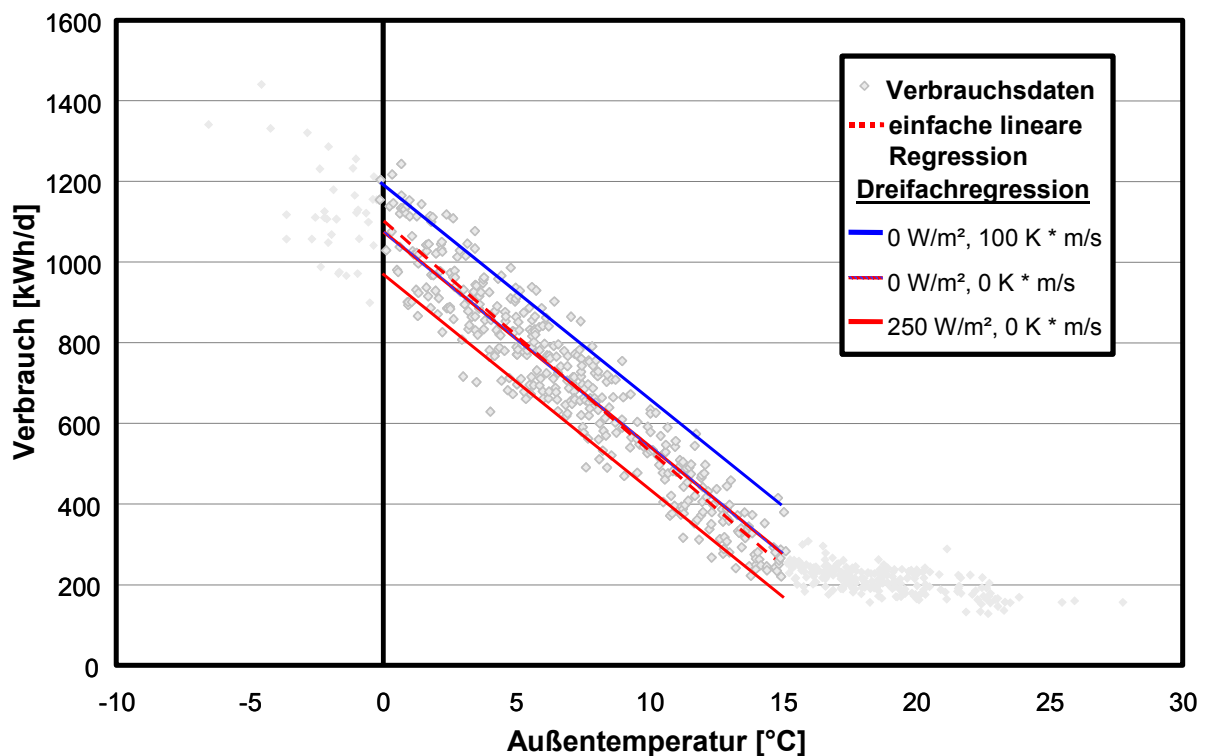


**Bild 4-5:** Einfluss von Außentemperatur, Globalstrahlung und Wind - Zweifachregression

Die eingetragenen Grenzlinien enthalten dabei jeweils die gesamte Bandbreite auftretender Werte für den weitgehend linearen Verbrauchsbereich zwischen 0 und 15 °C.

Ausgehend von der Linie „kein Strahlungseinfluss“ (0 W/m<sup>2</sup>, hellrot) ergeben sich zwei Einflussbereiche. Mit steigendem Einfluss der Strahlung sinkt der Verbrauch (roter Bereich), mit steigendem Windeinfluss nimmt er zwischen 0 und 100 K·m/s zu (blauer Bereich). In einem schmalen Feld dazwischen ergibt sich eine Überdeckung der beiden Bereiche. Innerhalb dieses schmalen Bandes liegt auch die einfache lineare Regression des Verbrauchs gegenüber der Temperatur (nicht im Bild) unter Vernachlässigung der beiden anderen Einflussgrößen. Bei 0 °C ergibt sich ein maximaler Einfluss von circa 9 % Abweichung bei Berücksichtigung der beiden Größen gegenüber der Einfachregression.

Die Abdeckung des gesamten Verbrauchsbandes gelingt gut durch eine Dreifachregression des Verbrauchs gegenüber den Klimaeinflüssen  $\vartheta_A$ ,  $E_G$  und  $v \cdot \Delta\vartheta$ , wie **Bild 4-6** zeigt.



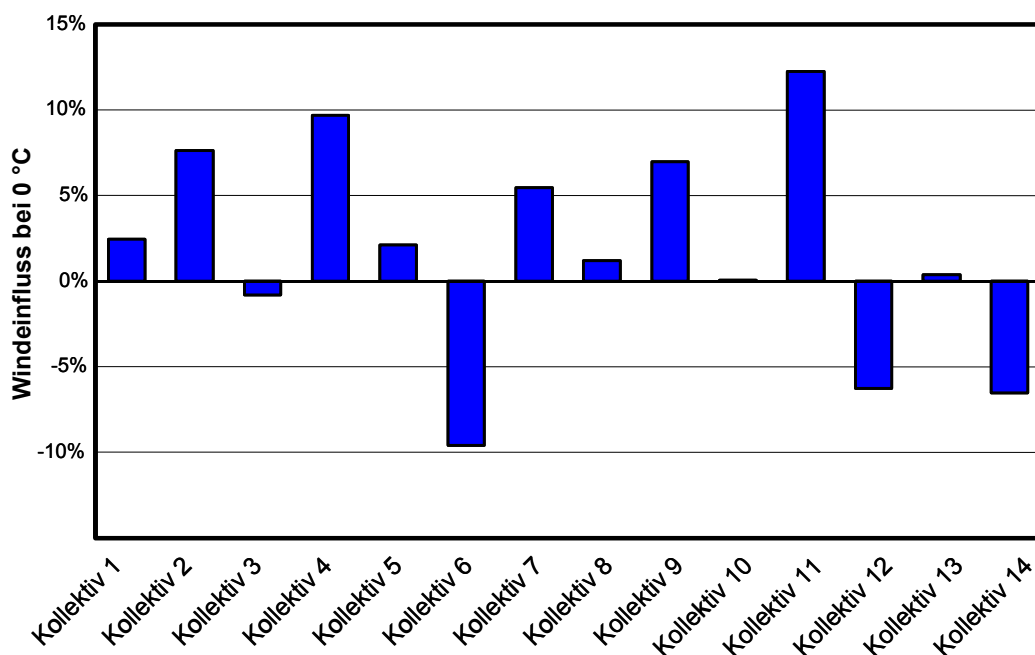
**Bild 4-6:** Einfluss von Außentemperatur, Globalstrahlung und Wind - Dreifachregression

Sie besitzt die Form  $W = a + b \cdot \vartheta_A + c \cdot E_G + d \cdot v \cdot \Delta\vartheta_A$ .

Zusätzlich ist in Bild 4-6 die einfache lineare Regression gegenüber der Temperatur dargestellt. Sie weist eine leicht von der Linie „kein Strahlungs- und Windeinfluss“ (0 W/m<sup>2</sup>, 0 K·m/s) abweichende Steigung, da die Kombination der Einflüsse von Strahlung und Wind nicht symmetrisch zu den Mittelwerten wirken. Etwa in der Mitte des untersuchten Temperaturbereiches fallen die beiden Geraden selbstverständlich zusammen.

Für 15 weitere Verbrauchskollektive konnte die rechnerische Größenordnung dieser Einflusswirkungen bestätigt werden. So wurden für die vom Einfluss des Windes aufgespannte Bandbreite bei 0 °C Werte zwischen 0 (kein Einfluss) und 12 % festgestellt (**Bild 4-7**). Hier besteht eine große Abhängigkeit von der Zuordenbarkeit der Verbrauchs- und Klimamessstelle, die vor

allen auf Grund des räumlichen Abstandes der beiden Messpunkte sehr unterschiedlich ausfallen kann.



**Bild 4-7:** Rechnerischer Einfluss des Windes und Abbildungsgenauigkeit

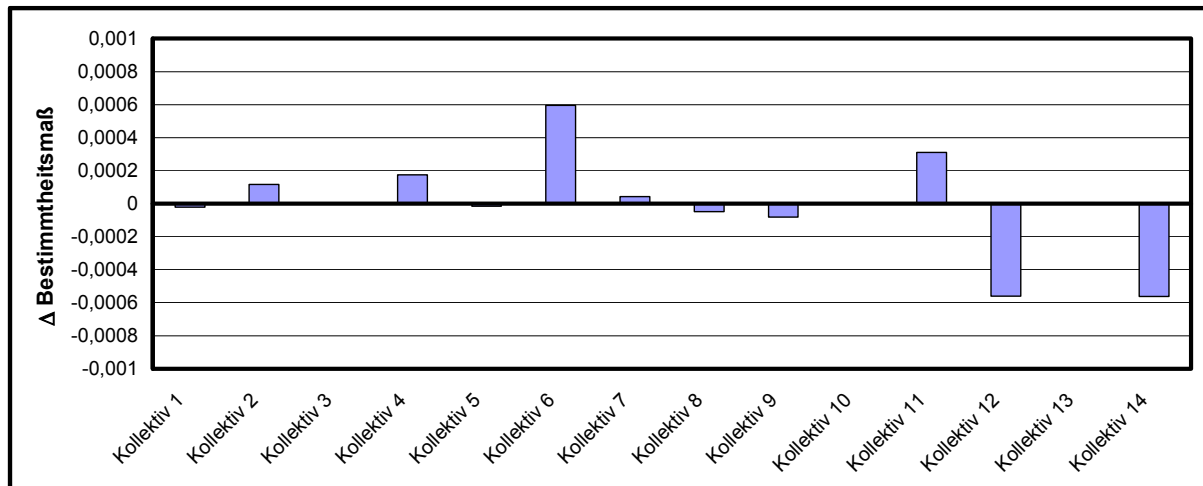
Fraglich bleibt jedoch, inwieweit der Einfluss, der sich rechnerisch ergibt, zu einer Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit führt, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Rahmenbedingungen der Regressionsrechnung verletzt wurden.

In **Tabelle 4-2** ist für 14 Haushaltskollektive das Bestimmtheitsmaß dargestellt, wie es sich für eine Berechnung der Einfachregression (Außentemperatur) und einer Zweifachregression (Außentemperatur und Wind-Temperaturdifferenz) einstellt.

**Tabelle 4-2:** Vergleich von Einfach- und Mehrfachregressionsrechnung

	22 EFH Neu	Kollektiv 1	Kollektiv 2	
<b>B Einfachregression</b>	0,903	0,947	0,948	
<b>B Doppel-/Dreifachregression</b>	0,913	0,947	0,948	
	Kollektiv 3	Kollektiv 4	Kollektiv 5	Kollektiv 6
<b>B Einfachregression</b>	0,957	0,888	0,929	0,911
<b>B Doppelregression</b>	0,957	0,888	0,929	0,912
	Kollektiv 7	Kollektiv 8	Kollektiv 9	Kollektiv 10
<b>B Einfachregression</b>	0,934	0,904	0,888	0,946
<b>B Doppelregression</b>	0,934	0,904	0,888	0,946
	Kollektiv 11	Kollektiv 12	Kollektiv 13	Kollektiv 14
<b>B Einfachregression</b>	0,906	0,944	0,949	0,929
<b>B Doppelregression</b>	0,906	0,944	0,949	0,929

Eine Verbesserung der Abbildung durch Einbeziehung des Windeinflusses kann, wie **Bild 4-8** dokumentiert, nicht festgestellt werden, die Verbesserung (teilweise auch Verschlechterungen) liegen im Promillebereich.



**Bild 4-8:** Steigerung der Abbildungsgenauigkeit durch Einbeziehung weiterer Einflussgrößen

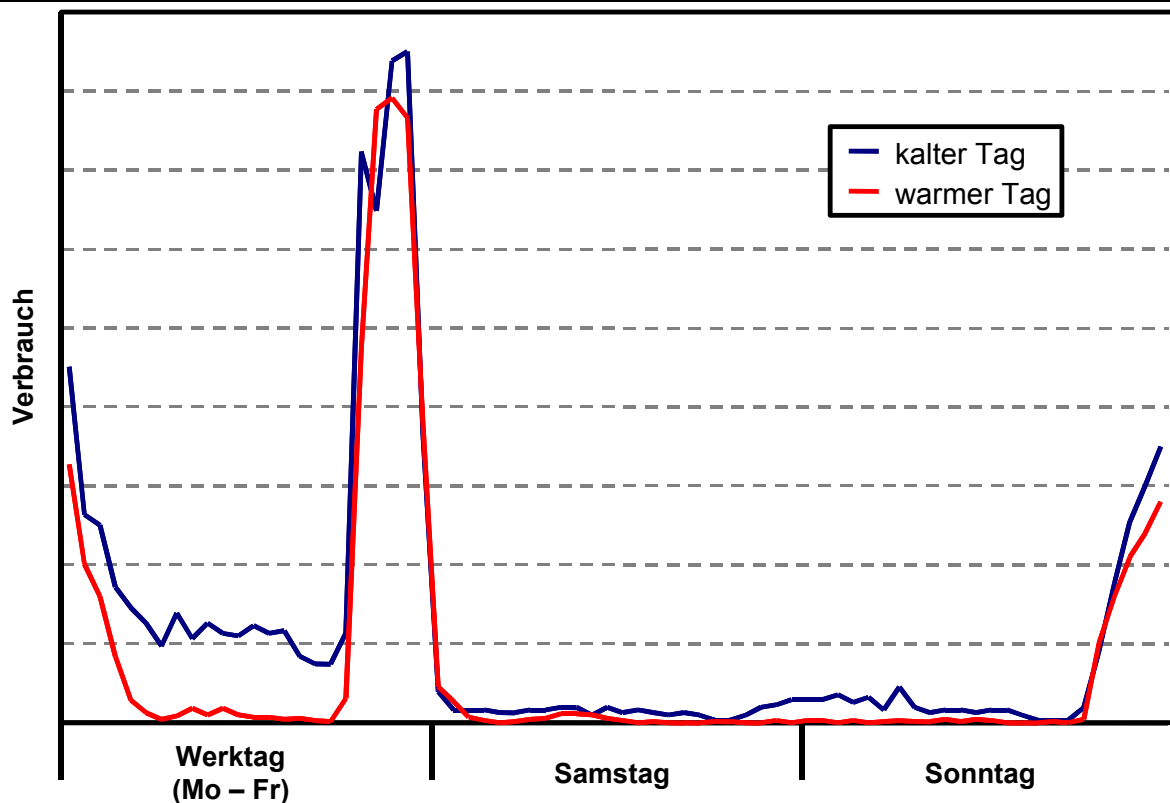
Somit besteht eine Diskrepanz zwischen dem rechnerischen Einfluss des Windes und der geringen Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit bei seiner Einbeziehung. Sie liegt darin begründet, dass auf Grund der Multikolarität der Einflussparameter es zu einer Falschzuweisung der Abhängigkeiten kommt. Der Größe Wind·Temperaturdifferenz wird eine Bedeutung zugewiesen, die sich auf Kosten der Abbildungsgenauigkeit der Regression über der Außentemperatur ergibt. Für die Größe Strahlung kann dies analog auf Grund der Ergebnisse aus oben erläuterten Untersuchungen der 22 Einfamilien-Neubauhäuser geschlossen werden, wo sich durch Übergang von der Einfach- zur Dreifachregression lediglich eine Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes von 0,903 auf 0,913 errechnet (Tabelle 4-2).

Diese Verbesserungen stehen in keinem Verhältnis zum Aufwand für die Datenbeschaffung. Deshalb wird von einer Einbindung der Größen Strahlung und Wind in die weiteren Untersuchungen abgesehen.

### 4.3. Wochentagsabhängigkeit

Insbesondere im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung haben die unterschiedlichen Wochentage großen Einfluss auf den Verbrauch. Hierbei spielen die Öffnungszeiten, aber auch branchenspezifische Besonderheiten eine Rolle. So erhöht und reduziert sich der Verbrauch einerseits im Stundenverlauf je nach Öffnungs- und Schließzeiten eines Betriebes, andererseits lassen sich je nach Verbraucherkategorie Tage mit über- und unterdurchschnittlichem Verbrauch ermitteln.

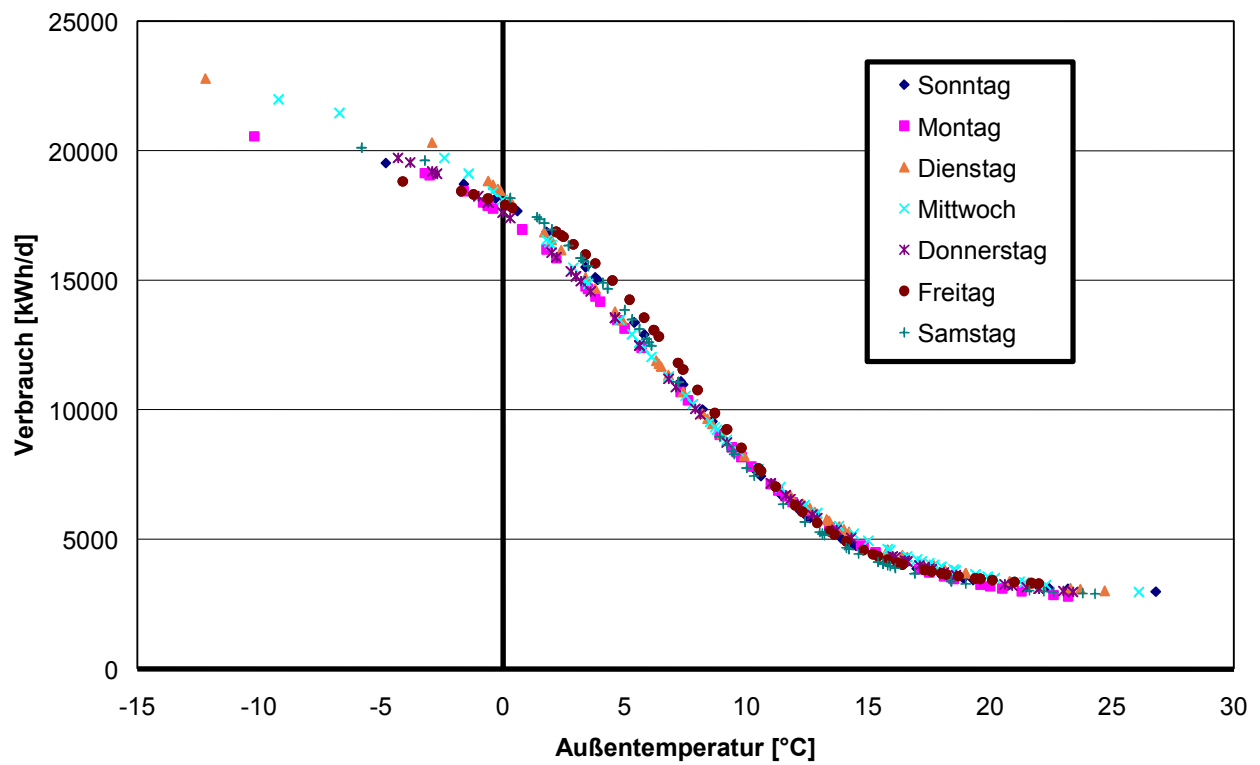
Beispielhaft zeigt **Bild 4-9** den Bezugsverlauf eines Bäckereibetriebes für kalte und warme Temperaturbereiche. Die Zeitachse stellt den Gastag von 6<sup>00</sup> – 30<sup>00</sup> Uhr für Werkzeuge, Samstage und Sonntage dar.



**Bild 4-9:** Gasverbrauch einer Bäckerei

Der höchste Bezug findet an Wochentagen in den Nachtstunden statt. Zu diesen Zeiten werden die Backwaren jeweils für den Folgetag produziert. Am Samstag fehlt diese Verbrauchsspitze, da für den Sonntag offensichtlich nicht produziert wird. In den späten Nachtstunden des Sonntags ist hingegen bereits wieder ein Anstieg des Verbrauchs für die Montagsproduktion festzustellen. Daneben ist in der Darstellung gut zu erkennen, wie sich der Verbrauch aus Prozess- und Heizgasanteilen zusammensetzt. Bei kalten Außentemperaturen kommt zum Prozessverbrauch an Wochentagen ein Bezug zur Deckung des Heizbedarfs hinzu. Am Wochenende ist dieser nicht oder nur extrem reduziert zu verzeichnen. Das Verhältnis aus Prozess- und Heizenergie stellt, wie im Folgenden noch gezeigt wird, ein Branchenspezifikum dar. Er äußert sich in der Lastprofilabbildung durch unterschiedliche Spreizungen der Funktionen sowie veränderte Stundenprofile. Die Bäckereien stellen dabei innerhalb des untersuchten Verbraucherbereichs zusammen mit den Wäschereien einen Sonderfall dar, da hier der Prozessenergieverbrauch deutlich größer als der Heizenergiebedarf ist. Bei den anderen Verbrauchertypen überwiegt hingegen meist die Heizenergie.

Für die Haushaltsverbraucher konnte dagegen weder für Tagesverbrauchswerte noch für den Stundenverlauf ein einheitlicher Trend bezüglich der Wochentagsabhängigkeit gefunden werden. **Bild 4-10** zeigt die Vorgehensweise der Untersuchungen an einem Beispielskollektiv. Mittels Regressionsrechnung lassen sich Ausgleichsfunktionen gesondert für jeden Wochentag finden. Anhand des Verlaufs dieser Kurven wurde der Wochentag mit höchstem und zweithöchstem Verbrauch in kalten Temperaturbereichen ermittelt.



**Bild 4-10:** Wochentagsregressionsrechnungen eines Haushaltskollektivs

In **Tabelle 4-3** sind für 15 untersuchte Kollektive die Tage mit höchstem und zweithöchstem Verbrauch markiert.

**Tabelle 4-3:** Tage mit höchstem und zweithöchstem Verbrauch bei Haushaltsverbrauchern

Siedlungs- kollektiv	Tage mit höchstem und zweithöchstem Verbrauch						
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
1					X	X	
2					X	X	
3					X	X	
4						X	X
5				X	X		
6				X			X
7						X	X
8						X	X
9		X	X				
10		X	X				
11		X	X				
12					X	X	
13				X	X		
14				X	X		
15			X				X

Standort 1

Standort 2

Standort 1

Standort 3

Standort 4

Standort 5



Innerhalb von Standorten lassen sich teilweise Trends angeben, die jedoch nicht durchgängig sind. Während die meisten Verbraucher am „Standort 1“ hohen Bezug am Wochenende aufweisen, hat Kollektiv 6 donnerstags einen Tag mit erhöhtem Verbrauch. Auch „Standort 5“ ist uneinheitlich. Zudem ließen sich die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Standorten keinem klassifizierenden Merkmal zuordnen. Weder verhielten sich bei den untersuchten Kollektiven ländliche Gebiete strukturell anders als städtische, noch beispielsweise ostdeutsche anders als westdeutsche.

Die in anderen Untersuchungen gefundenen Zusammenhänge im Stundenlastgang, dass bei ostdeutschen Verbrauchern die Morgenspitze eine Stunde früher als bei westdeutschen Verbrauchern liegt, konnte nicht einheitlich bestätigt werden. Auch eine Wochentagsabhängigkeit des stündlichen Verbrauchsgangs, beispielsweise ein in früheren Untersuchungen / 54 / festgestellter „Badetag“, ist nicht festzustellen. Hier haben zunehmendes Komfortbedürfnis, aber auch die sehr viel größere Verbreitung zentral gesteuerter Anlagen zu deutlichen Veränderungen im Verbrauchsverhalten geführt.

Für die Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungsverbraucher ist deshalb eine Abbildung des Wochentags unabdingbar, für Haushaltskunden wird jedoch darauf verzichtet.

#### 4.4. Gleichzeitigkeitsgrad

Rückschlüsse von kollektiven Untersuchungen auf Einzelverbraucher und umgekehrt sind stets problematisch, insbesondere in statistischen Verfahren. Die Kenntnis über die enthaltenen

Gleichzeitigkeitsgrade  $g_g = \frac{P_{\max}}{\sum P_{i,\max}}$  erlaubt dennoch Rückschlüsse auf die besonders wichtige Größe der maximalen Leistung.  $P_{\max}$  stellt dabei die sich ergebende Summenspitze des kollektiven Verbrauchs dar,  $\sum P_{i,\max}$  ist die Summe der Spitzenwerte der einzelnen Verbraucher.

Für Haushaltskunden konnten hier zwei Extreme, eine Neubau- Einfamilienhaus- und eine Mehrfamilienhaussiedlung der alten Baualtersklasse untersucht werden, für die jeweils alle Einzelobjekte gesondert erfasst wurden.

**Bild 4-11** zeigt den Gleichzeitigkeitsgrad  $g_g$  in Abhängigkeit von der Kollektivstärke  $K$  für beide Siedlungen. Ausgehend von einem Einzelobjekt wurde nach dem Zufallsprinzip der Verbrauch weiterer gleichartiger Verbraucher der Siedlung hinzugefügt, wodurch die Kollektivstärke jeweils um 1 zunimmt.  $G_g$  verläuft zunächst stark fallend, ab einer Siedlungsgröße von etwa 6 bis 10 Verbrauchern flacht der Verlauf dann ab.

Der Gleichzeitigkeitsgrad der Einfamilienhäuser fällt sehr viel schneller und tiefer mit Zunahme der Kollektivgröße ab als es bei den Mehrfamilienhäusern der Fall ist. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Leistungsspitzen der Einfamilienhäuser ausgeprägter und singulärer sind. Auch der Einfluss des Baualters wirkt insofern mit diesem Trend, als der Verbrauch bei alten Gebäuden sich im kalten Temperaturbereich gleichmäßiger gestaltet und somit zeitlich voneinander abweichende Spitzen einen geringeren Rückgang des Gleichzeitigkeitsgrades bewirken.

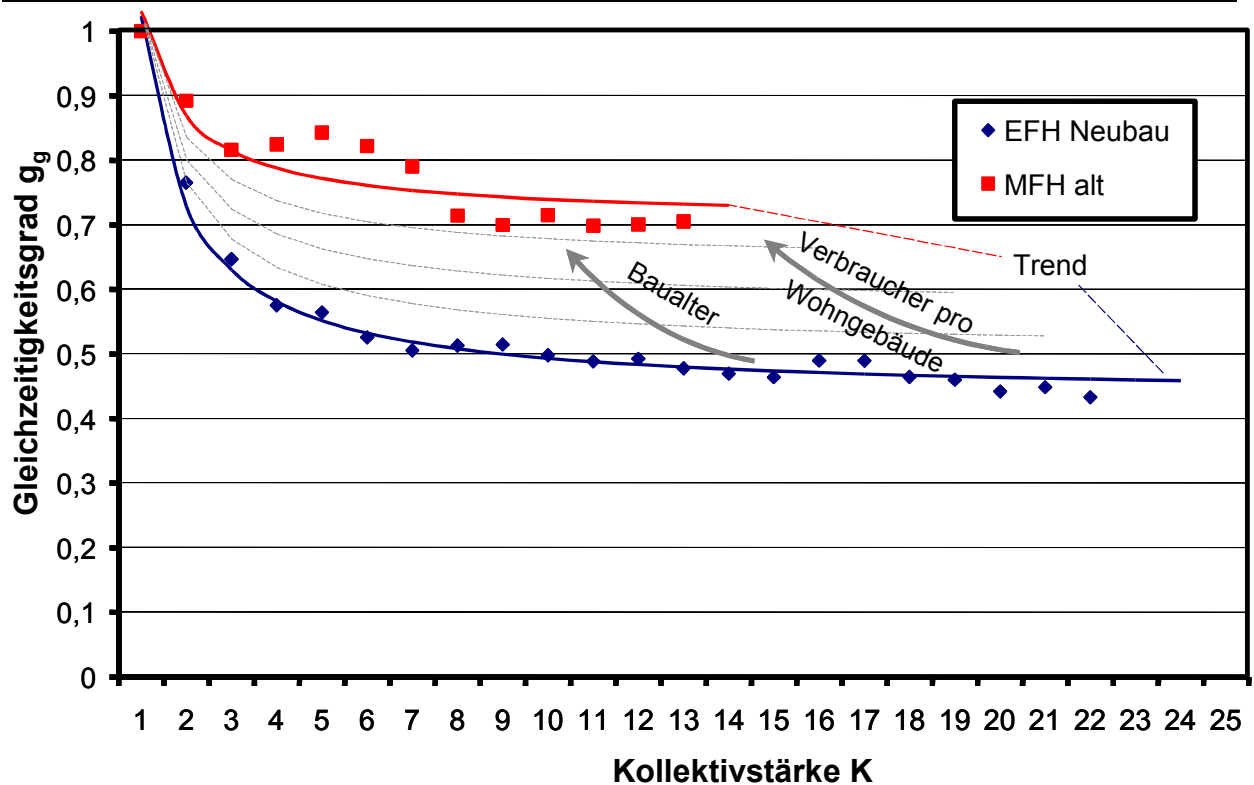


Bild 4-11: Gleichzeitigkeitsgrad in Abhängigkeit der Kollektivgröße

#### 4.5. Sonstiges

Neben den dargestellten Faktoren wirken eine große Anzahl weiterer Parameter nicht unerheblichen Einfluss auf den Verbrauchsverlauf aus. So lässt sich für jeden Verbraucher eine individuelle Zusammenstellung von Parametern aus den drei Bereichen Außeneinflüsse (Standort, Gebäudelage, spezielle Witterungseinflüsse), individuelles Nutzerverhalten (Nutzung, Temperaturfühligkeit, Versorgungsstrategie) und Anlagen-/Gebäudetechnik (Versorgungsumfang, Regelungseinstellungen etc.) zusammenstellen. Diese Einflüsse sind qualitativ und größtenteils auch quantitativ bestimm- und abbildbar. Allerdings ist die dafür notwendige Datenerfassung beim Verbraucher mit erheblichem Aufwand verbunden und kann im Rahmen einer hier angestrebten bundesweiten Abbildung aller Kleinkunden nicht geleistet werden.

## 5. Lastprofilverfahren

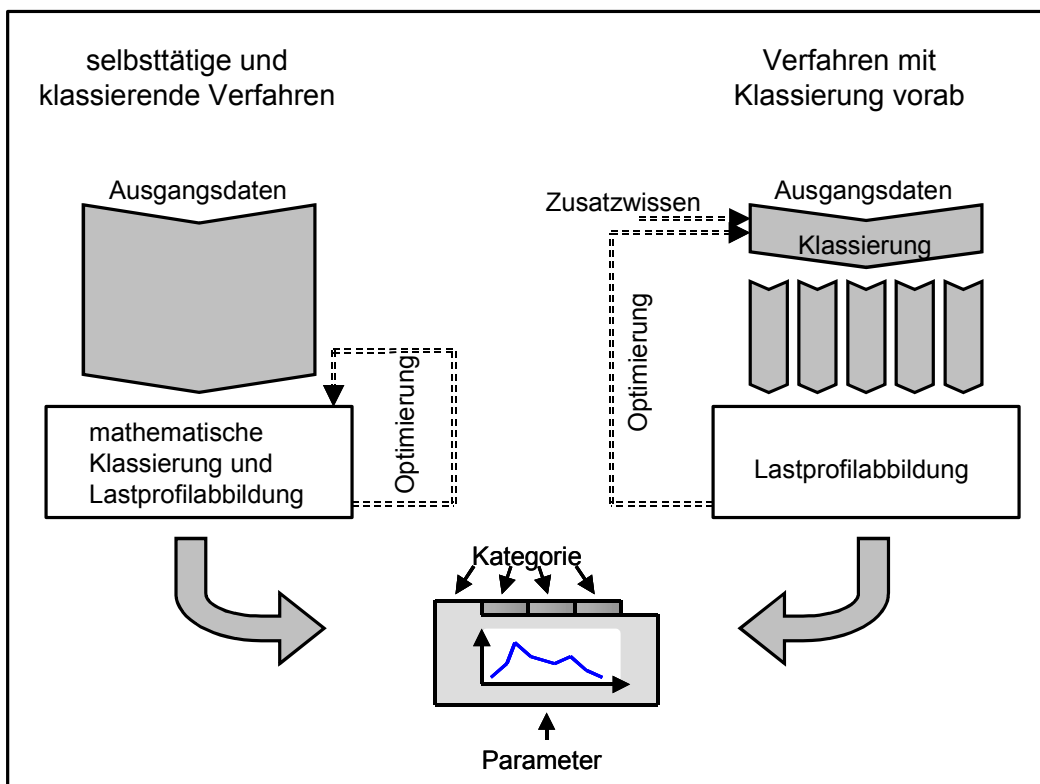
### 5.1. Grundsätzliches

Die Abbildung von Verbrauchern mittels Lastprofil wird in der Energiewirtschaft seit langem insbesondere zu Prognosezwecken (Beschaffungsplanung etc.) angewandt. Dabei kommen prinzipiell unterschiedliche Verfahren (zum Beispiel Regressionsrechnung, Neuronale Netze, Clusteranalyse usw.) zur Anwendung.

Zweckgebunden setzen sich alle Verfahren aus zwei Bestandteilen zusammen: der Nachbildung nach nominal skalierten (Verbrauchertyp, Wochentag usw.) und intervallskalierten (zum Beispiel Außentemperatur) Einflussfaktoren.

Selbsttätige und klassierende Verfahren vollziehen die Abbildung dieser Einflusskategorien meist in einem Schritt und optimieren automatisch nach rein mathematischen Gesichtspunkten (**Bild 5-1**, linker Teil). Bei funktionellen Abbildungsformen (rechter Bildteil) erfolgt hingegen die Klassierung extern durch den Anwender. Neben der Möglichkeit, die Einteilung nach nominal skalierten Faktoren mathematisch zu optimieren, ist es hierbei möglich, die strukturell begründbaren Zusammenhänge in den Vordergrund zu stellen. Anhand der Ergebnisse kann mit Hilfe von vorhandenem Zusatzwissen dann die getroffene Einteilung überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Gegenüber den automatischen Verfahren besteht der Vorteil, dass eine Verselbstständigung von Ergebnissen und die Möglichkeit daraus resultierender falscher Rückschlüsse stark eingeschränkt werden, indem kontrollierte Verbesserungen stets auf die ursprünglich eingebundene Basis zurückgreifen.

In der vorliegenden Arbeit konnte auf eine umfangreiche Sekundärstatistik (u.a. / 3 /, / 16 /) zurückgegriffen werden. Auf dieser Grundlage wurde eine weitgehend inhaltlich orientierte Voreinteilung der Verbrauchergruppen vorgenommen, die gegebenenfalls nach Vorliegen der Ergebnisse revidiert werden konnte. Die Abbildung der Abhängigkeiten geschah mittels Regressionsrechnung. Das gewählte Vorgehen bot somit optimale Möglichkeiten der Plausibilisierung durch den Auswertenden und der Einbindung zusätzlicher Informationen.



**Bild 5-1:** Automatische und strukturell orientierte Lastprofilverfahren

## 5.2. Beschränkungen

Standardlastprofile können definitionsgemäß nur ein statistisches Abbild einer individuellen Realität wiedergeben. Insofern macht eine Einzelkundenabbildung nur bedingt Sinn, die Abbildung mittels Lastprofil ist aus prinzipiellen Überlegungen nur für „Teile eines Ganzen“ sinn-

voll. Erfasst man zu Kontrollzwecken den Verbrauch eines Einzelkunden, so wird grundsätzlich bei ihm das Lastprofil den Verbrauch nur näherungsweise treffen. Liegen solche Detailinformationen (Messwerte) zum Einzelverbraucher vor, wäre die Anwendung der Lastprofile selbstverständlich abzulehnen und statt dessen die Messdaten, die Grundlage der Feststellung waren, zu verwenden. Gerade der Aufwand zur Beschaffung dieser Detailinformationen ist unter Kosten-Nutzen-Aspekten jedoch nicht vertretbar. Auf Grund von auftretenden Vergleichmäßigungseffekten in größeren Verbraucheraggregationen kann das Lastprofil aber für die Mehrzahl der Verbraucher ein zufriedenstellendes Abbild darstellen.

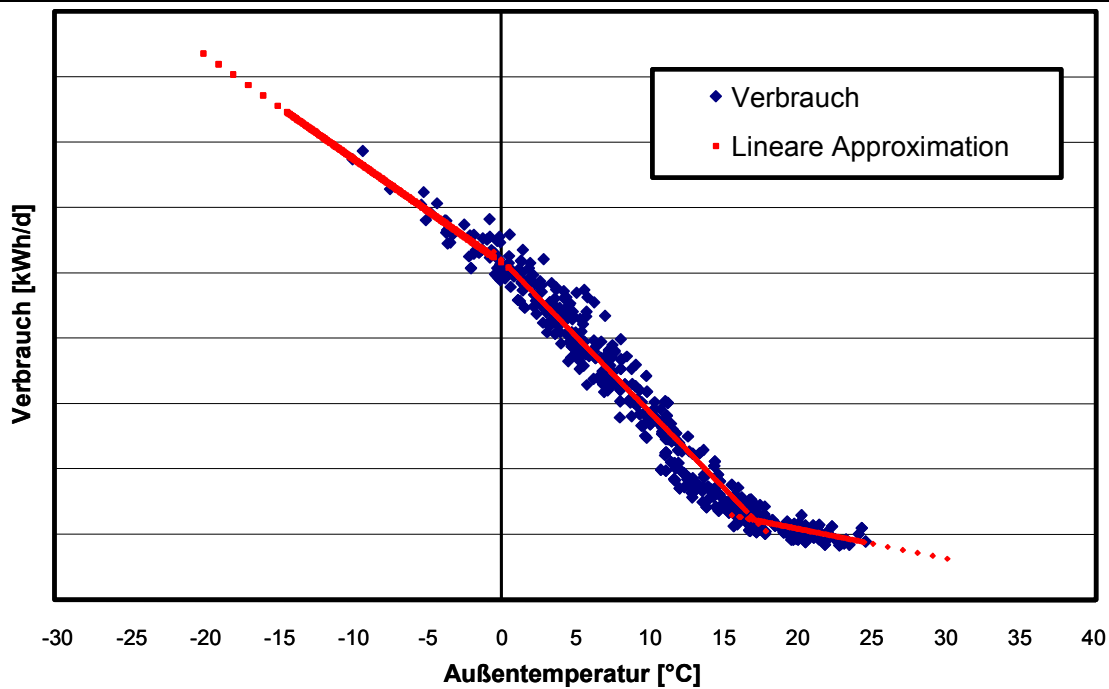
Während für Haushaltskunden als Anwendungsfall fast ausschließlich die Fremdversorgung von Kollektiven (Wohnblock, Siedlung o.ä.) zu unterstellen ist, ist bei Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungskunden durchaus die Fremdversorgung einzelner Verbraucher vorstellbar. Letztere werden einem „virtuellen Kollektiv“ zugerechnet: proportional dem Jahresverbrauch wird der Einzelverbraucher als „Anteil“ des versorgten Bestands seines Verbrauchertyps behandelt.

Eine grundsätzliche Einschränkung des Lastprofilverfahrens stellt die Diversität der Verbraucher dar. Durch die Variation der unterschiedlichen Verbrauchsanteile wie zentraler oder dezentraler Heizwärme- oder Warmwassererzeugung sowie Prozessenergiebereitstellung, unter Umständen mit mehr als einem Energieträger, lässt sich das abzubildende Verbrauchsverhalten beliebig kompliziert kombinieren. Die Abbildung aller Möglichkeiten ist äußerst komplex, erfordert viele Informationen und ist daher nicht zu realisieren und auch nicht sinnvoll. Deshalb werden Standardlastprofile für die Anwendung der bedeutsamsten Verbrauchergruppen erstellt, die energiestatistisch identifiziert wurden. Für von diesen Standardverbrauchstypen abweichende Verbraucher muss gegebenenfalls unter Einbeziehung von Detailwissen eine Anpassung der Profile erfolgen. Der zu treibende Aufwand kann dabei bis zu einer messtechnischen Erfassung reichen, sollte eine solche Anpassung der Profile auf Grund der Kundenstruktur notwendig, aber nicht mit vertretbarem Aufwand bezüglich der Datenrecherche und Adaption möglich sein.

### 5.3. Wahl der Regressionsfunktion

Der Tagesverbrauch wird mittels Regressionsrechnung in Abhängigkeit der Außentemperatur abgebildet. Dabei lassen sich auf Grund der oben diskutierten Zusammenhänge drei Temperaturbereiche voneinander unterscheiden, die durch nahezu konstanten, sommerlichen Verbrauch, steil steigendes, etwa lineares Verhalten sowie ein Abknicken bei kalten Temperaturen charakterisiert werden.

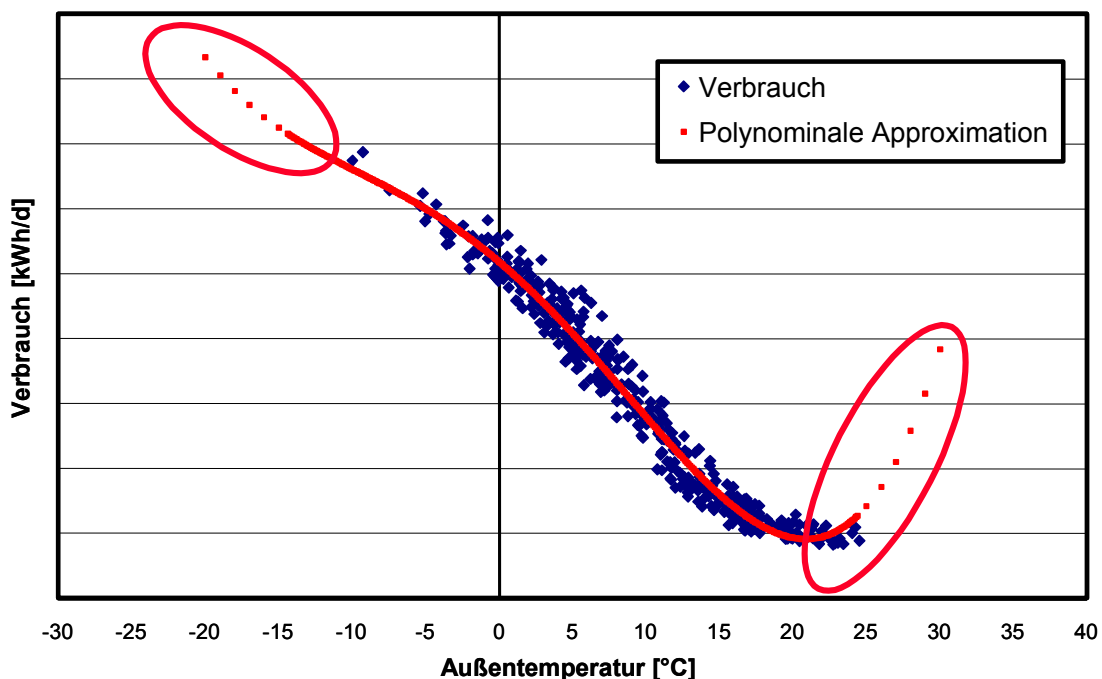
Prinzipiell sind eine Reihe von Funktionstypen für die funktionale Abbildung dieses Zusammenhangs denkbar. In der Vergangenheit wurde die Abhängigkeit des Tagesverbrauchs meist mit Hilfe linearer Funktionen nachgebildet. Neben dem Vorteil der sehr einfachen Handhabung bringt dieses Vorgehen, wie **Bild 5-2** zeigt, jedoch einige wesentliche Nachteile mit sich: für die drei Bereiche sind eigenständige lineare Regressionsfunktionen zu finden.



**Bild 5-2:** Lineare Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs

Insbesondere die Identifizierung der „Knickstellen“ ist dabei ausgesprochen aufwändig und bei Vorliegen zahlreicher Kollektive höchst problematisch, da für die Knickstellen eine gemeinsame, gleichartige Abhängigkeit Voraussetzung wäre. Zusätzlich ist das Verhalten der Funktionen sowohl innerhalb als auch außerhalb des Erfahrungsbereiches nur bedingt zufriedenstellend.

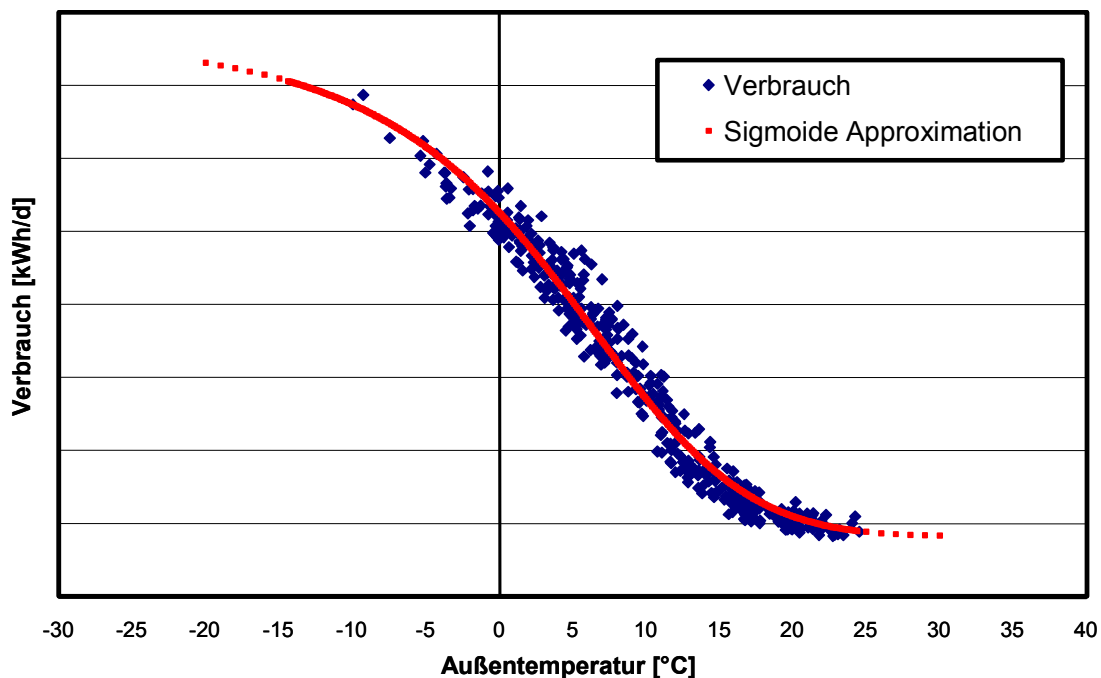
Häufig wird deshalb eine polynomiale Ausgleichsfunktion gewählt. Sie bietet sowohl den Vorteil einer einfachen mathematischen Darstellung als auch den einer stringenten Abbildung des gesamten Temperaturbereichs.



**Bild 5-3:** Polynomiale Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs

Wie **Bild 5-3** zeigt, wird innerhalb des Erfahrungsbereichs außerdem eine verhältnismäßig gute Abbildung des Verbrauchsverlaufs erreicht. Trotzdem ist das Polynom aus zwei Gründen abzulehnen. Zum einen weist es für Ordnungszahlen  $< \infty$  stets eine „Welligkeit“ auf, die strukturell nicht mit dem Verbrauchsverlauf zu begründen ist, zum anderen neigt das Polynom zum „Ausbrechen“ für die Abbildung von Werten aus Temperaturbereichen, die nicht dem ursprünglichen Erfahrungsbereich entstammen. In Bild 5-3 sind diese Bereiche verdeutlicht. Für die Abbildung wurde deshalb ein alternativer Funktionstyp gewählt. Er erfüllt eine Reihe von Anforderungen, die als wesentlich identifiziert wurden.

**Bild 5-4** zeigt den Verlauf. Neben der Grundbedingung einer zusammenhängenden Abbildung des gesamten Temperaturbereiches musste die Funktion flexibel beide „Knickstellen“-Bereiche erfassen können. Sowohl für sehr kalte wie auch für warme Temperaturen sollte ein Grenzwert angelaufen werden. Auf Grund ihres „S“-förmigen Verlaufs werden Funktionen dieser Grundform oft als *Sigmoidfunktionen* bezeichnet.



**Bild 5-4:** Sigmoide Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs

#### 5.4. Umsetzung

Die gewählte Sigmoidfunktion basiert auf der den Wirtschaftswissenschaften entlehnten trans-

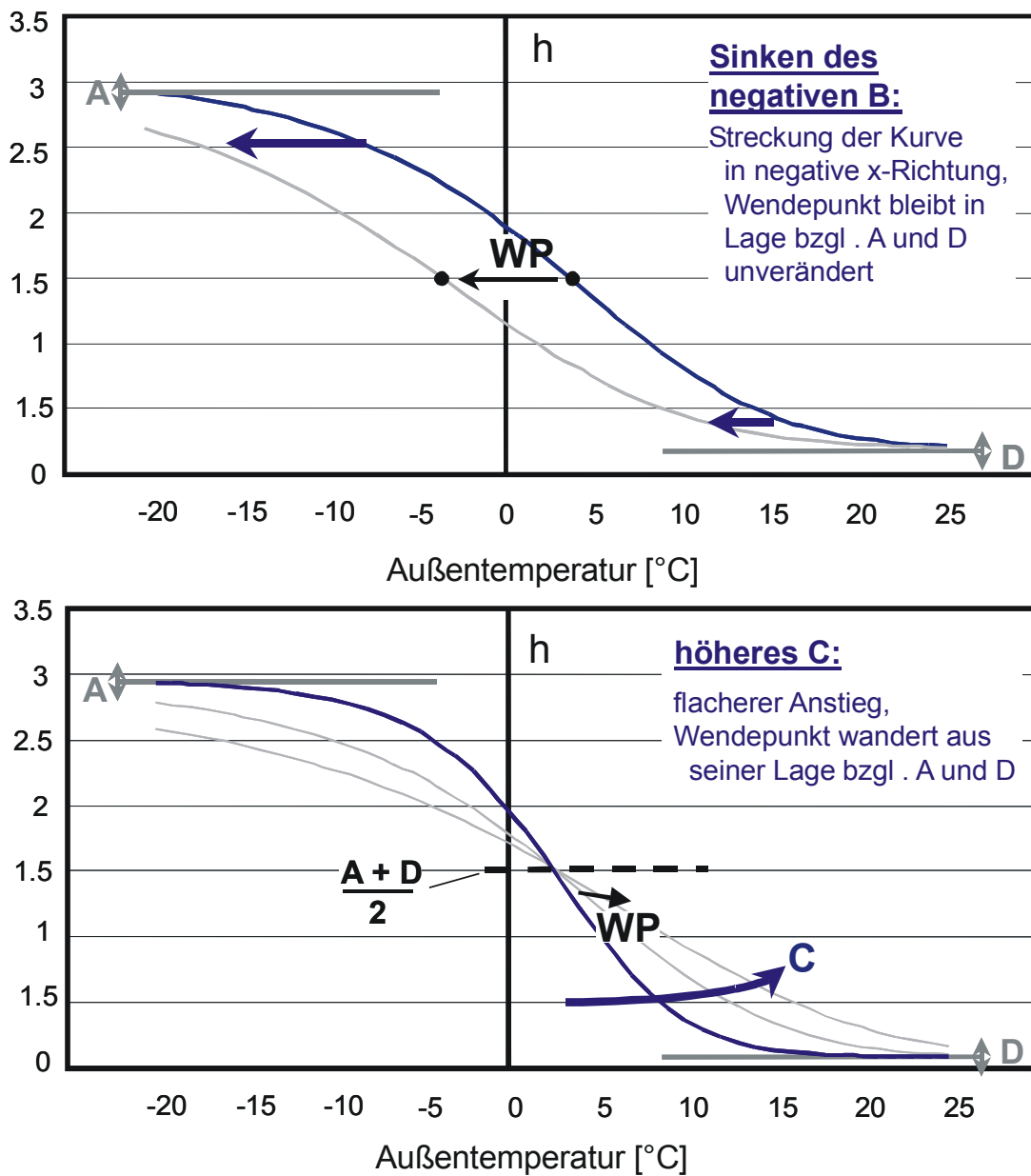
zendenten Wachstumsfunktion (/ 15 /)  $y = \frac{A}{1 + \left(\frac{B}{x}\right)^c}$ . Für den konkreten Anwendungsfall wur-

de die Funktion leicht modifiziert. Zum einen wurde ein Summand hinzugefügt, der den temperaturunabhängigen Warmwasser-/ Prozessenergieverbrauch modelliert (D), zum anderen wurde die Unstetigkeitsstelle bei  $x = 0$  auf  $+40$  (°C) verschoben, so dass innerhalb des zu erwartenden Temperaturbereichs keine Unstetigkeit auftritt. In **Bild 5-5** wird der Einfluss der bestimmenden Parameter verdeutlicht.

Während die Koeffizienten A und D die Grenzwerte der Funktion bestimmen, streckt eine Absenkung des negativen Koeffizienten B, wie in Bild 5-5 dargestellt, generell die Funktion nach links. Dadurch kann der Übergang des „Sommersockels“ zum steileren Verlauf (+15 °C bis +18 °C) ebenfalls nach links verschoben werden. Die relative Lage des Wendepunktes bleibt erhalten. Eine Anhebung des Koeffizienten C bewirkt demgegenüber sowohl ein „Abflachen“ des Verlaufs als auch ein Wandern des Wendepunkts aus der Symmetrie.

Somit ergibt sich als Abbildungsvorschrift für den normierten Verbrauch h in Abhängigkeit der

$$\vartheta_A : h = \frac{A}{1 + \left(\frac{B}{\vartheta_A - 40}\right)^C} + D$$



**Bild 5-5:** Gewählte Abbildungsfunktion und bestimmende Parameter

## 5.5. Stundenwerte

Eine funktionelle Abbildung der Stundenwerte ist bei den Gewerbekunden mit nicht außentemperaturabhängigen Einflüssen hingegen problematisch. Deshalb wurde hier eine tabellarische Abbildung vorgezogen. In Abhängigkeit der Außentemperatur und der 24 Stunden des Gastages („6<sup>00</sup> bis 30<sup>00</sup> Uhr“) wurde so das statistische Mittel erfasst und die Werte als stündlicher Anteil am Tagesverbrauch  $SF = \frac{h_{Stunde}}{h_{Tag}}$  festgehalten, so dass nach der Ermittlung des Tageswertes durch eine einfache Multiplikation die Stundenwerte vorliegen  $h_{Stunde} = h_{Tag} \cdot SF$

mit  $h_{Stunde}$ ,  $h_{Tag}$ : normierte Verbrauchswerte mit stündlicher bzw. täglicher Auflösung.

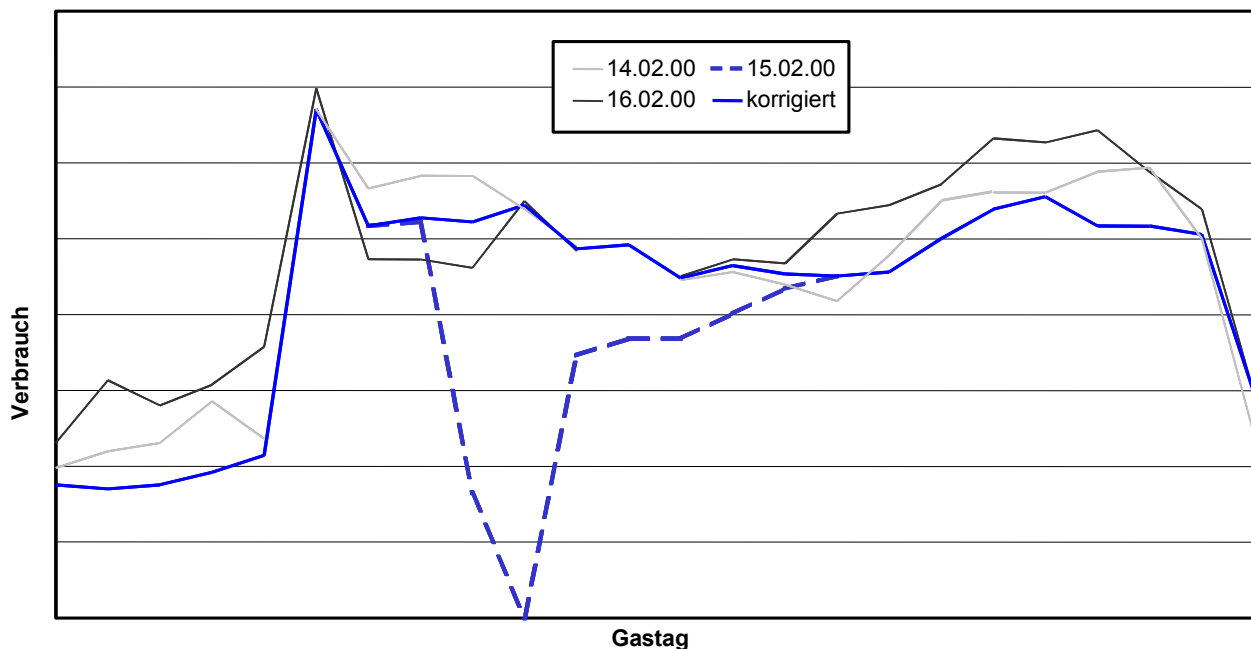
Diese Vorschrift lässt sich selbstverständlich auf die Abbildung nicht normierter Stundenwerte direkt übertragen.

## 6. Datenerfassung und -verarbeitung

### 6.1. Datenaufbereitung und –korrektur

Als Grundstock für zu ermittelnde Lastprofile muss die Datenbasis einer detaillierten Prüfung unterzogen werden. Selbstverständlich gehört hierzu als erster Schritt die Prüfung der Daten auf Richtigkeit und Vollständigkeit in allen auftretenden zeitlichen Aggregationsformen. Das beinhaltet auch die Identifikation und soweit möglich die Korrektur von fehlerhaften und unplausiblen Stunden- und Tageswerten, insbesondere im Kontext aller übrigen Verbrauchswerte.

**Bild 6-1** zeigt ein Beispiel im Bereich des Stundenverlaufs.



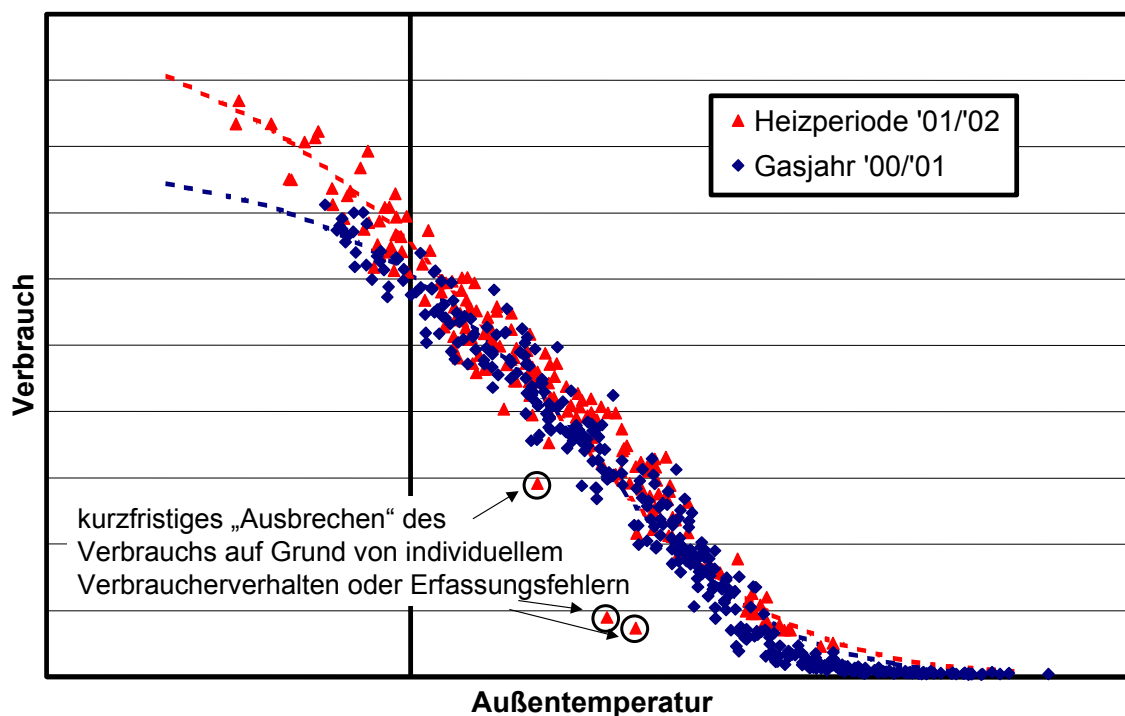
**Bild 6-1:** Korrektur eines Stundenverbrauchsgangs

Während der Vortag (14.02.) und nachfolgende Tag (16.02.) den typischen Verlauf des Verbrauchers bei der vorherrschenden Temperatur aufweisen, bricht der Verbrauch am 15.02 in den Stunden ab 7<sup>00</sup> Uhr ein. Ursachen, die zu solchem Verhalten führen, sind zum Beispiel



der Ausfall von Messtechnik, der einen vom tatsächlichen Verbrauch abweichenden Datenverlauf wiedergibt oder eine atypische Versorgungsunterbrechung. Solche Fehler konnten teilweise durch Interpolation zwischen vorausgehenden und nachfolgenden Tagen „ausgeglichen“ werden oder führten teilweise auch zum Ausschluss von Teildatenmengen, insbesondere bei längerfristigen Fehlern.

**Bild 6-2** enthält typische Beispiele für fehlerhafte Verbrauchswerte ganzer Tage. Besonders häufig konnten hier, wie auch im dargestellten Beispiel, Störungen und Fehler der Messtechnik ausgemacht werden, wie sich im Gespräch mit den Datenlieferanten zeigte. Daneben traten jedoch auch Zeitbereiche mit deutlich verbraucheruntypischem Verbrauch auf, beispielsweise zusammenhängende Urlaubszeiträume mit reduziertem Verbrauch oder der Ausfall von Versorgungsinfrastruktur (Nullverbrauch). Solche Fehler wurden aus der übrigen Untersuchungen eliminiert und gegebenenfalls gesondert untersucht.



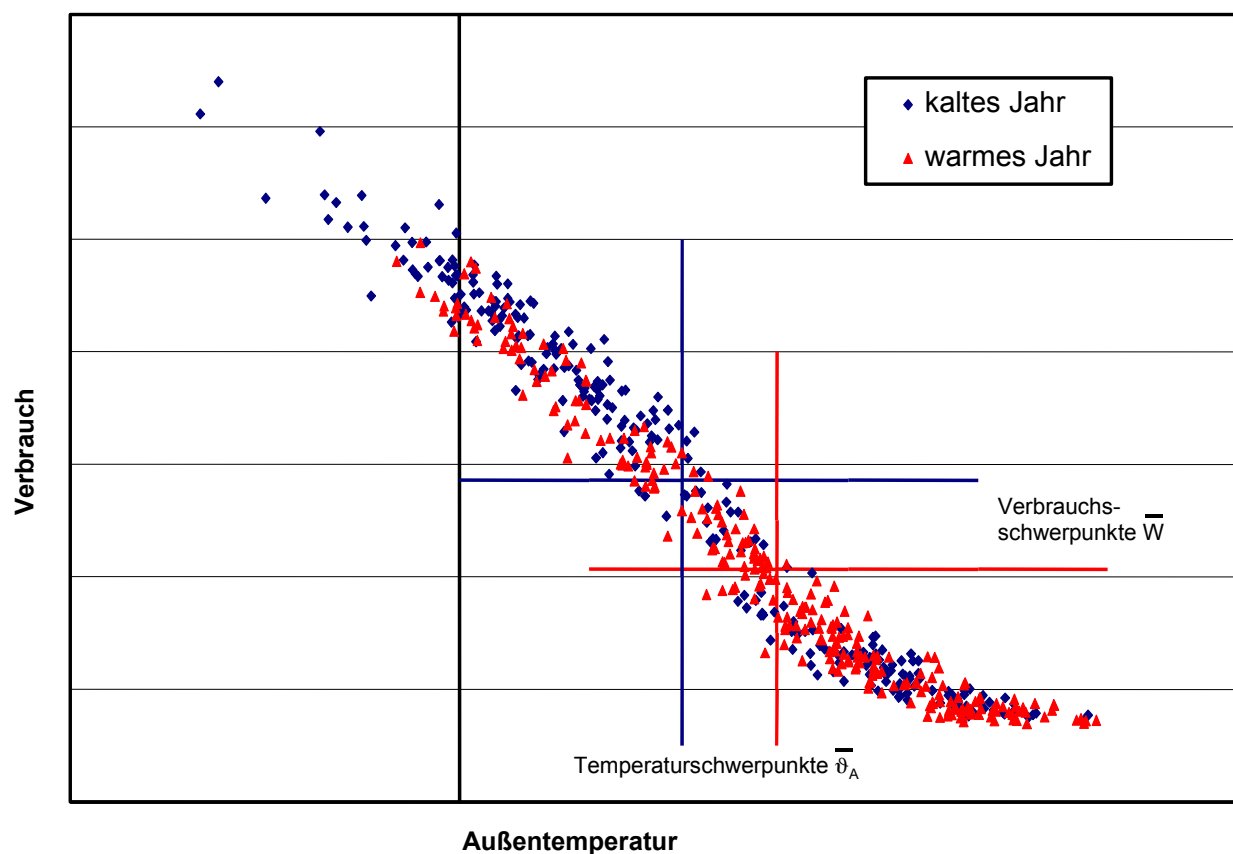
**Bild 6-2:** Haushaltsverbraucher-Kollektiv: verändertes Verbraucherverhaltens durch Zubau

Neben der Untersuchung von Tages- und Stundenwerten muss eine Plausibilisierung aber auch längerfristige Bereiche kritisch in Bezug setzen. Bild 6-2 zeigt ein Haushaltskollektiv, dessen Verbrauch in der Heizperiode 2001/ 02 signifikant höher lag als im Gasjahr 2000/ 01, obwohl annähernd gleiche Außenbedingungen herrschten. Wie sich in Rücksprache mit dem Datenlieferanten klären ließ, kam es in der betreffenden Siedlung in diesem Zeitraum zu einem nicht unerheblichen Zubau neuer Häuser. Eine gemeinsame Untersuchung des gesamten Zeitbereichs hätte somit auf Grund einer strukturellen Bedarfsänderung zu einer unscharfen und auch falschen Abbildung geführt.

## 6.2. Standardisierung

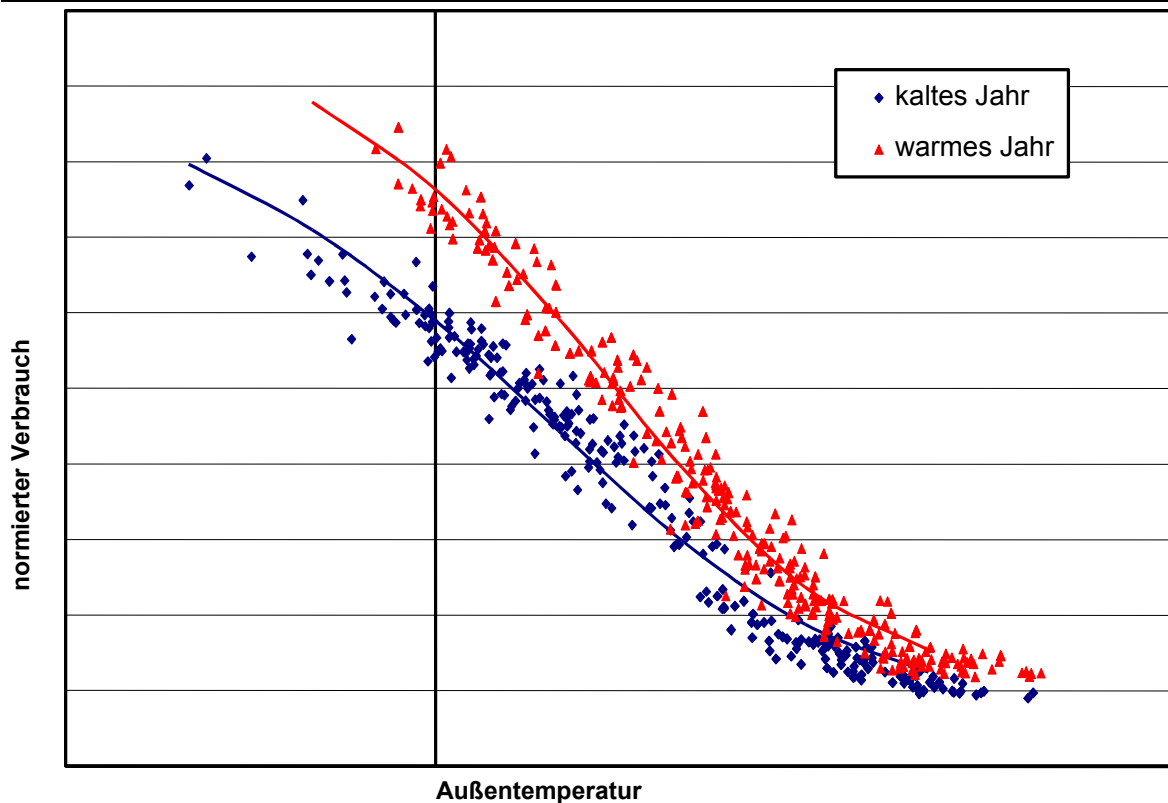
Das vorangestellte Problem verdeutlicht, dass für den Quervergleich unterschiedlicher Verbraucher, die an verschiedenen Messorten zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst wurden, vor der Auswertung eine Plausibilisierung und anschließende Vereinheitlichung stattfinden muss. Die korrekten und aufbereiteten Daten beinhalten neben der Abhängigkeit des Gasverbrauchs von äußeren Einflussfaktoren noch standort- und verbraucherspezifische Einflüsse, die eine vergleichende Bewertung nicht gestatten und vor einer Auswertung eliminiert werden müssen. Dazu gehören die Messkollektivgröße, was eine Normierung erforderlich macht, und der dem erfassten Verbrauch zu Grunde liegende Temperaturverlauf.

**Bild 6-3** und **Bild 6-2** verdeutlichen dies. Für denselben Verbraucher ergeben sich bei gleichem strukturellen Verbrauchsverhalten unterschiedliche mittlere Tagesverbrauchswerte, korrelierend mit den unterschiedlichen, in den Verbrauchskollektiven beinhalteten Temperaturen.



**Bild 6-3:** Verbrauchswerte des selben Verbrauchers in einem kalten und einem warmen Jahr

Würde ohne Berücksichtigung dieses Sachverhalts auf den Jahresverbrauch normiert, ergäben sich für das Verbrauchsverhalten des gleichen Verbrauchers zwei unterschiedliche Zusammenhänge, was aus offensichtlichen Gründen inakzeptabel ist. Deshalb wurden die Originaldatensätze zunächst einer Temperaturkorrektur auf einen Referenztemperaturstandort unterzogen, bevor die Normierung erfolgte. Hierfür eignet sich in Deutschland besonders der Standort Würzburg im 30jährigen Temperaturmittel, da er mit seiner Gradtagszahl (3883 K·d) etwa die gewichteten mittleren Klimabedingungen Deutschlands widerspiegelt (/ 33/).



**Bild 6-4:** normierte Verbrauchswerte des selben Verbrauchers in einem kalten und einem warmen Zeitbereich ohne Temperaturkorrektur

**Bild 6-5** verdeutlicht das Vorgehen zur Temperaturkorrektur. Der Mittelwert der erfassten Temperatur vor der Korrektur ( $\bar{\vartheta}_{vor}$ ) weicht fast immer von der mittleren Temperatur des Referenzstandortes ( $\bar{\vartheta}_{Ref}$ , für Würzburg 9,1 °C) ab. Mit Hilfe der für die Originaldaten ermittelten Abhängigkeit von Tagesverbrauch und Außentemperatur werden die Wertepaare (Verbrauch/Temperatur) gleichmäßig parallel zur Funktion um  $\Delta\vartheta$  verschoben, so dass der Mittelwert der Temperatur mit dem des Referenzstandortes übereinstimmt.

$$\Delta\vartheta = \bar{\vartheta}_{vor} - \bar{\vartheta}_{nach}$$

mit:  $\bar{\vartheta}_{vor}$  : standort- und zeitraumabhängige Mitteltemperatur

$$\bar{\vartheta}_{nach} = \bar{\vartheta}_{Ref} = 9,1 \text{ °C}$$

Dadurch verschiebt sich jeder einzelne Verbrauchswert

$$W_{i,nach} = f(\vartheta_{A,i,nach}) + \Delta W$$

mit:  $\Delta W = W_{i,vor} - f(\vartheta_{A,i,vor})$

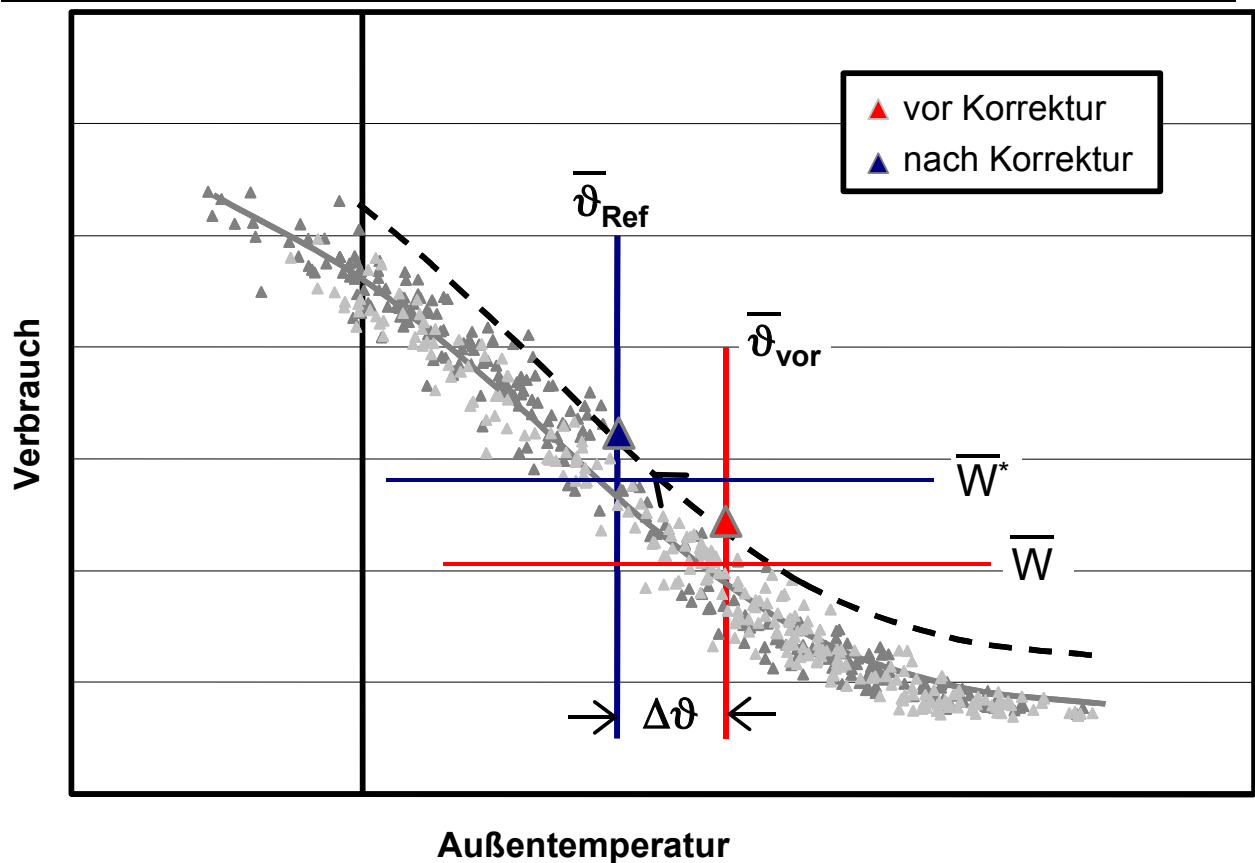
$W_{i,vor}$ ,  $W_{i,nach}$  : Verbrauch vor/ nach der Temperaturkorrektur

$f(\vartheta_{A,i,vor})$ ,  $f(\vartheta_{A,i,nach})$  : Funktionswert vor/ nach der Temperaturkorrektur

$\vartheta_{A,i,vor}$ ,  $\vartheta_{A,i,nach}$  : Temperaturwert vor/ nach der Temperaturkorrektur,

und es ergibt sich an Stelle des ursprünglichen Tagesdurchschnittsverbrauchs  $\bar{W}$  ein korrigierter

mittlerer Tagesverbrauch  $\bar{W}^* = \frac{\sum_{i=1}^N W_{i,nach}}{N}$ , der als Normierungsgröße geeignet ist.



**Bild 6-5:** Temperaturkorrektur der Originalwerte

Werden die Wochentage wie im Bereich G/H/D verschieden abgebildet, muss die Standardisierung diese Wochentagsabhängigkeit berücksichtigen und für jeden Tagtyp gesondert erfolgen. Durch ein solches Vorgehen bleibt sowohl das Verbraucherverhalten als auch die Streuung der im gemessenen Jahr erfassten Temperaturverhältnisse weitgehend erhalten.

Gegenüber den traditionell eingesetzten Gradtagszahlverfahren, die eine rein lineare Skalierung vorsehen, ergibt sich somit eine dem nicht-linearen Verbrauchsverhalten sehr viel besser angepasste Korrekturmöglichkeit.

An die vorgenannten Schritte der Datenaufbereitung schloss sich eine Normierung an, die Unterschiede in der Mächtigkeit der Verbraucherkollektive und im Jahresverbrauch eliminierte, wobei der durchschnittliche Tagesverbrauch als Normierungsgröße gewählt wurde. Alternative Normierungsgrößen wie zum Beispiel der Heizperiodenverbrauch waren ungeeignet, da insbesondere im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung auch Verbrauchertypen betrachtet wurden, bei denen der Einfluss der Heizung nur eine geringe Rolle spielte. Der normierte Verbrauch wird im Folgenden mit  $h$  bezeichnet.

$$h = W^* / \bar{W}^*$$

mit:  $\bar{W}^*$  : durchschnittlicher Tagesverbrauch am Referenzstandort (s.o.)

Da auch im normierten Verbrauch Tages- und Stundenwerte betrachtet werden, wird zur Verdeutlichung nachfolgend an einigen Stellen der Index  $\text{Tag}$  bzw.  $\text{Stunde}$  verwendet.

## 7. Entwickelte Lastprofile

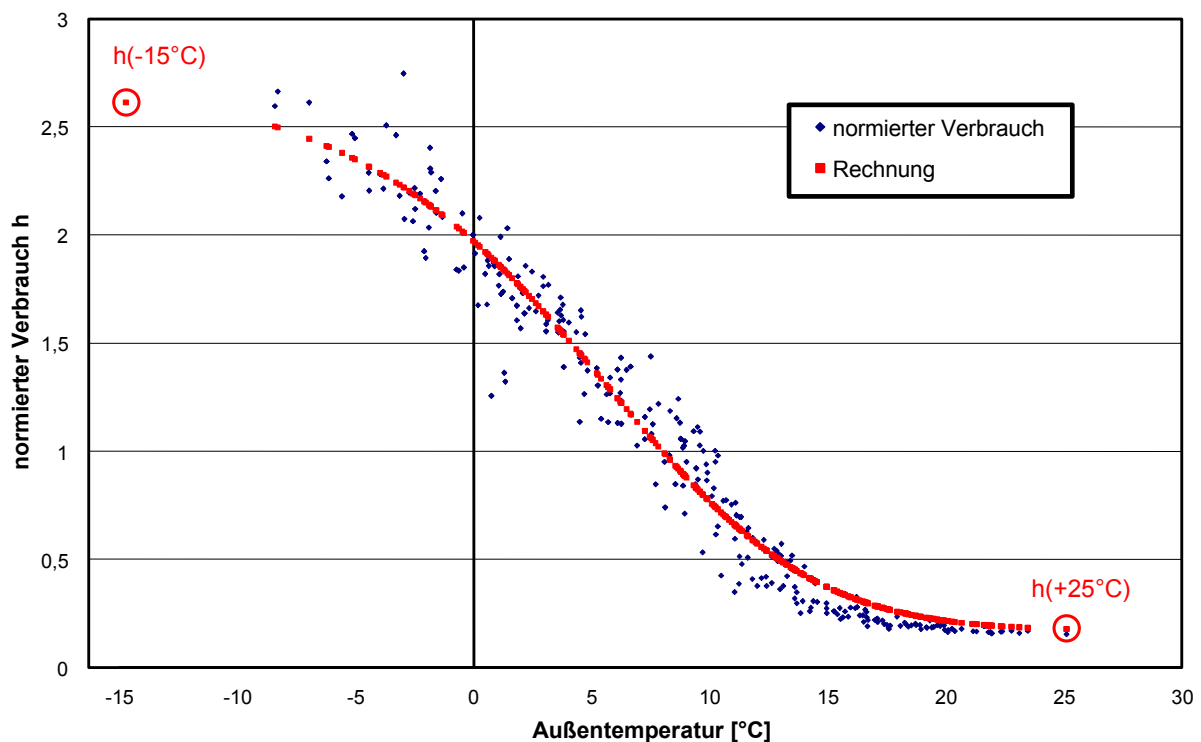
Die um die oben genannten Einflüsse bereinigten und normierten Daten beinhalten in ihrem Verlauf zum einen intervallskalierte, zum anderen nominal skalierte Einflussfaktoren wie Verbrauchertyp, Uhrzeit oder Wochentag. Wie oben gezeigt wurde, ist bei den intervallskalierten Einflussfaktoren die Außentemperatur dominierend, während die anderen Einflussfaktoren vernachlässigt werden konnten. Dies geschah vor allem auch vor dem Hintergrund, dass die Anwendung der Lastprofile deutschlandweit zu Berechnungs- und Prognosezwecken mit einem minimalen Aufwand an einzupflegenden Daten erfolgen sollte. Aus dem Vergleich der Abhängigkeit aller Verbraucher ist unter Kenntnis der nominal skalierten Faktoren eine Quantifizierung solcher Einflüsse möglich. Auch hier musste die Differenzierung berücksichtigen, dass der Aufwand zur Recherche der notwendigen Daten vertretbar bleiben musste.

Grundsätzlich wurden die Untersuchungen getrennt für Haushaltsverbraucher und Kunden aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen angestellt. Einerseits ist dies inhaltlich durch unterschiedliche Verbrauchsstrukturen begründet, zum anderen hängt es mit der Art des Verbraucheraufkommens und den Verbraucheraggregationen zusammen.

### 7.1. Haushalte

#### 7.1.1 Abbildung des Tagesverbrauchs

Für die Haushaltskunden wurden sowohl Daten von Kollektiv- wie auch von Einzelkunden einbezogen. **Bild 7-1** zeigt als Beispiel die standardisierten Verbrauchswerte  $h$  eines Verbraucherkollektivs in Tagesaggregation und die abbildende Funktion.

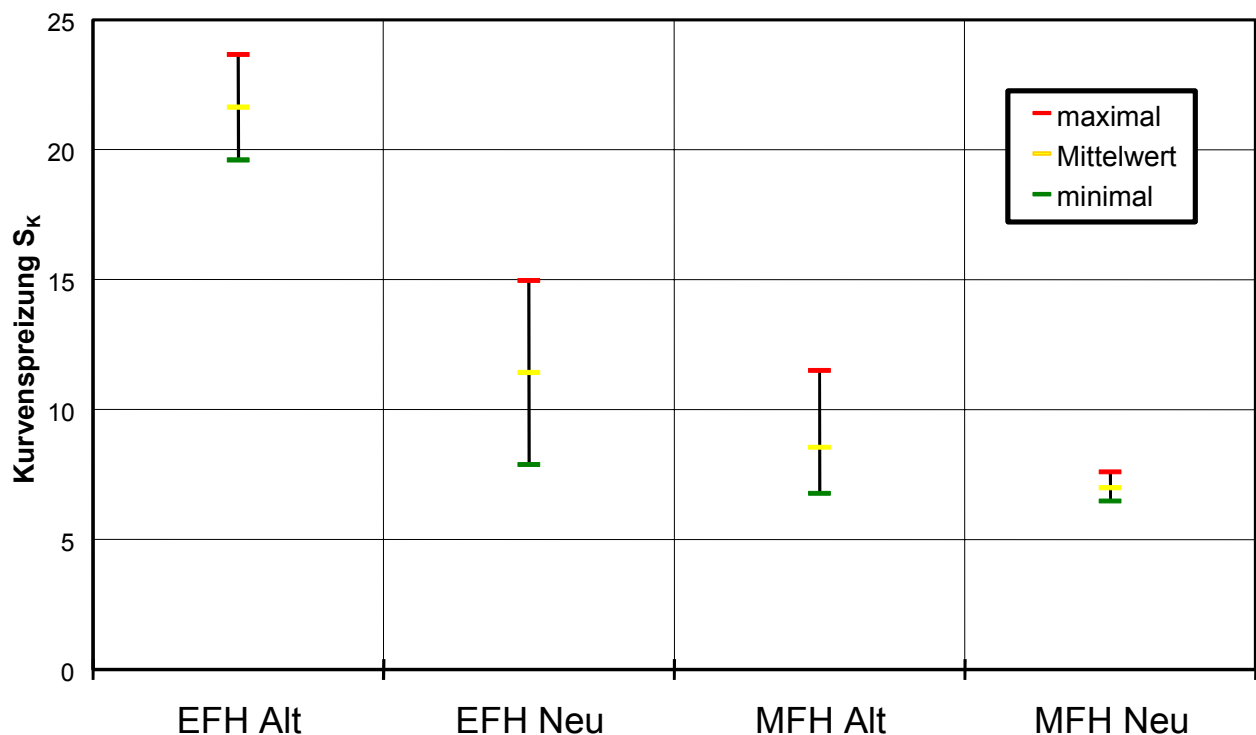


**Bild 7-1:** Normierte Verbrauchswerte eines Verbraucherkollektivs mit Raumheizung und zentraler Warmwasserbereitung

Deutlich zu erkennen ist das oben diskutierte typische Verbrauchsverhalten. Bei warmen Außentemperaturen über 15 bis 18 °C ist lediglich ein weitgehend konstanter Grundanteil vorhanden, der vor allem durch Warmwasserverbrauch begründet ist. Bis etwa 5 bis 0 °C schließt sich mit Unterschreiten der Heizgrenztemperatur ein relativ steiler Verbrauchsanstieg an, dessen Steigung jedoch bei noch tiefer liegenden Temperaturen (circa  $\leq 0$  °C) deutlich nachlässt. Nicht im Bild sind extreme Temperaturen ab  $-10$  bis  $-24$  °C, bei denen auf Grund der Heizungsdimensionierung ein maximaler Grenzwert erreicht wird, da solche Außentemperaturen (als Tageswert) nur sehr vereinzelt erfasst werden konnten.

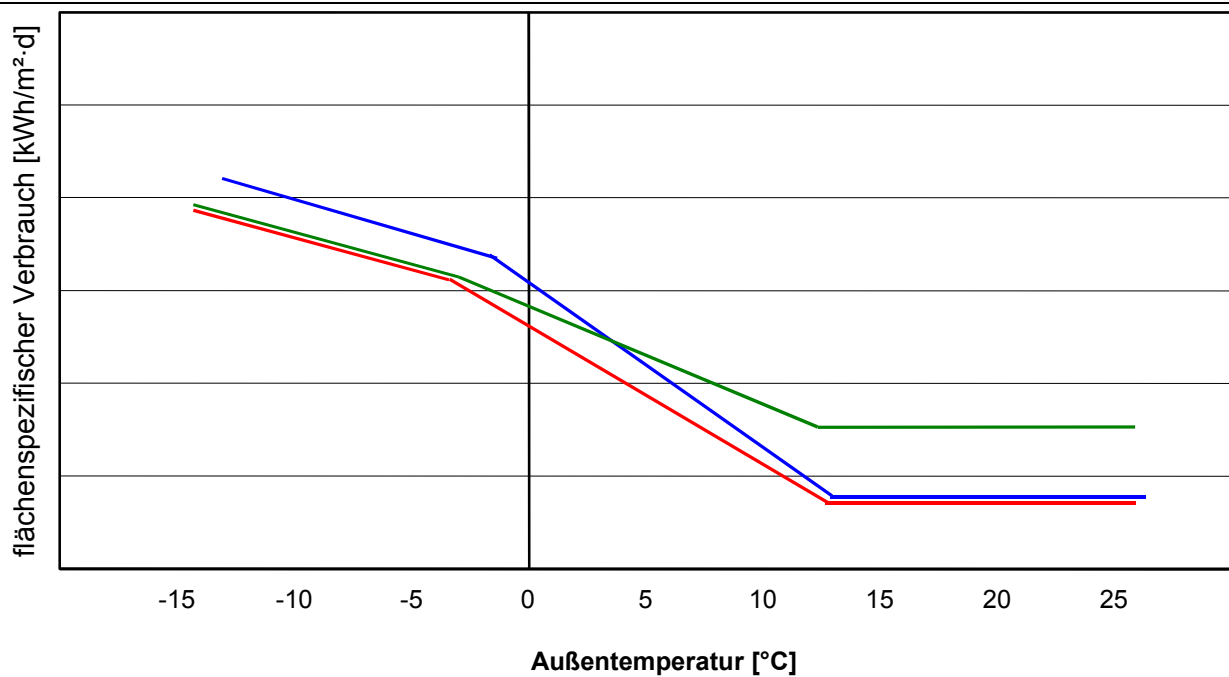
Der klassifizierende Unterschied zwischen verschiedenem Verbrauchsverhalten äußert sich im Verlauf der Kurve, vor allem aber in der Spannbreite, den die Kurve zwischen warmen und kalten Temperaturbereichen überdeckt. Diese Qualität wird im Folgenden als Kurvenspreizung

$S_K = \frac{h_{Tag}(-15^\circ\text{C})}{h_{Tag}(+25^\circ\text{C})}$  modelliert; für die eingebundenen Kollektive sind in **Bild 7-2** die vorkommenden Spreizungen wiedergegeben.



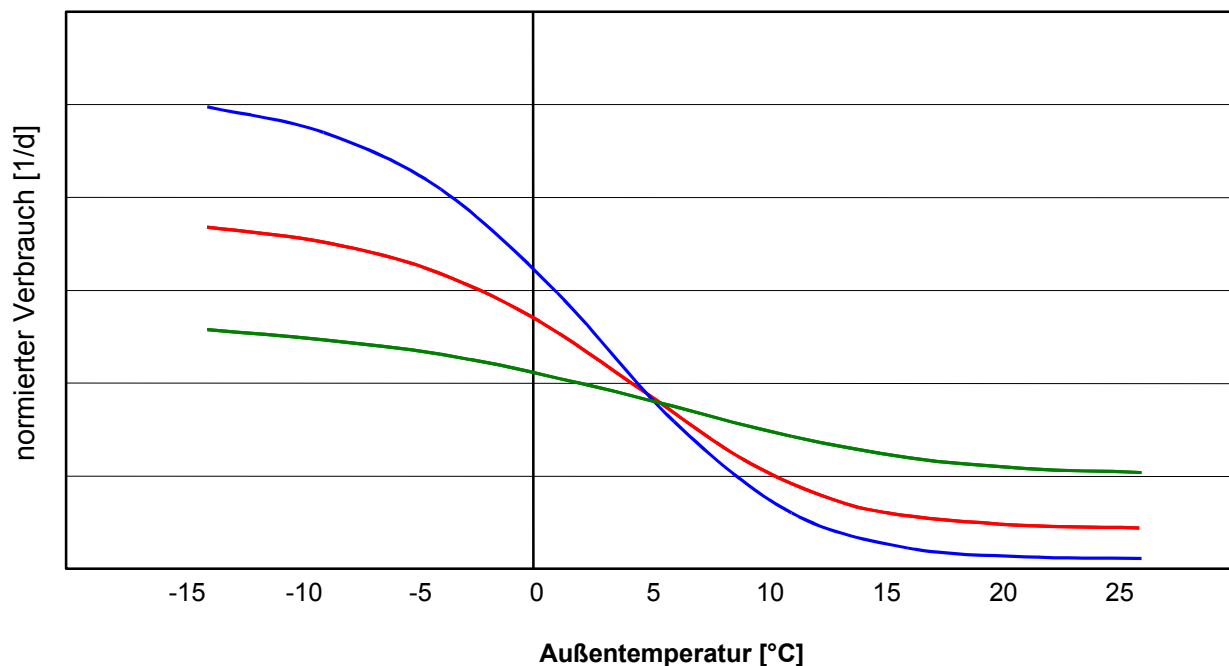
**Bild 7-2:** Auftretende Spreizungen bei Haushaltskollektiven

Mit steigendem Baualter und Abnahme der Verbraucheranzahl pro Haus der Kollektive ist eine Verbreiterung der Spreizung zu verzeichnen. Dies ist einerseits auf den sinkenden Einfluss der Warmwasserversorgung gegenüber dem Heizenergieverbrauch, andererseits auf steigenden Verbrauch bei kalten Temperaturen zurückzuführen. Zur Erläuterung zeigt **Bild 7-3** qualitativ drei flächenspezifische Verbrauchsmuster, deren normiertes Äquivalent sich in **Bild 7-4** wiederfindet.



**Bild 7-3 :** Flächenspezifischer Verlauf im Vergleich

Entspricht die blaue Kurve qualitativ alten Einfamilienhäusern, repräsentiert im Vergleich dazu die rote Kurve neue Einfamilienhäuser. Der Sockel des Warmwasserbedarfs wiegt bei der roten Kurve im Verhältnis zum Gesamtbezug höher, gleichzeitig bezieht der blaue Verbraucher im Winter mehr pro Quadratmeter und Jahr.

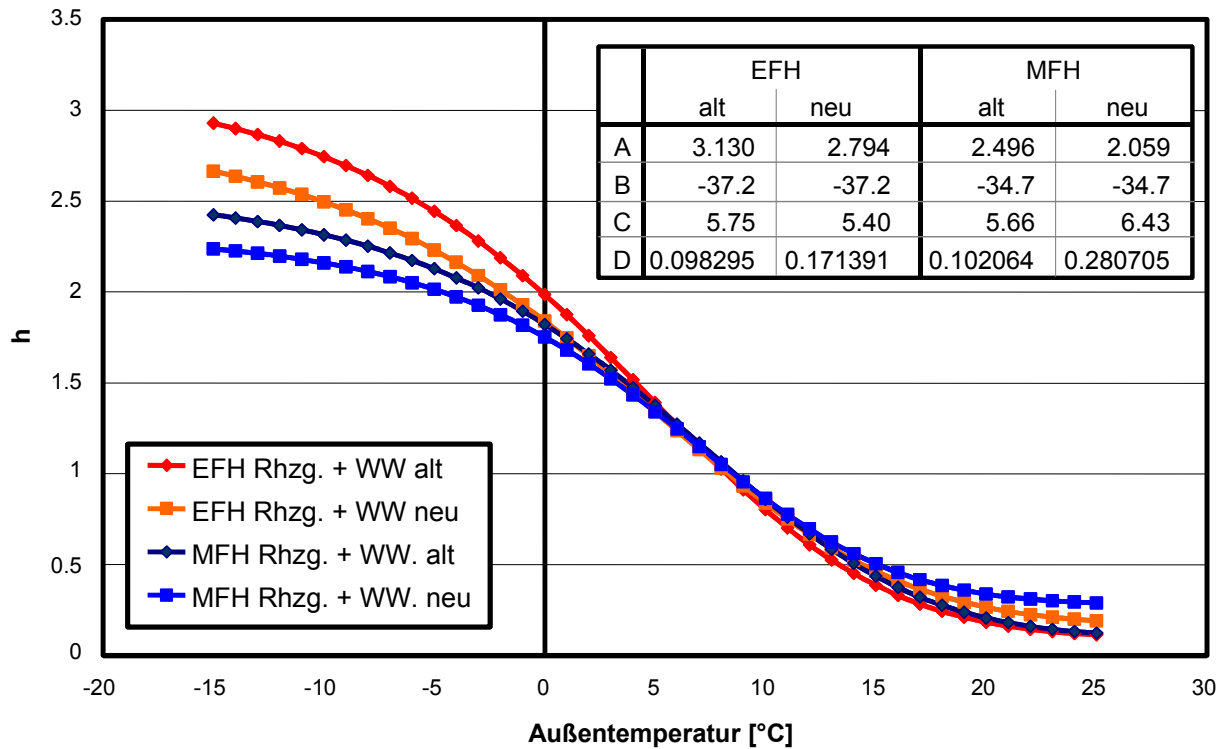


**Bild 7-4 :** normierter Verlauf im Vergleich

In ihrer Lage zu den anderen beiden Kurven verdeutlicht der grüne Verbraucher den Unterschied zwischen Mehr- und Einfamilienhäusern: Mehrfamilienhäuser weisen eine geringere Spreizung als Einfamilienhäuser auf.

**Bild 7-5** zeigt die Ergebnisse für die betrachteten Haushalte. Die ebenfalls dargestellten Koeffizienten genügen der Abbildungsvorschrift

$$h_{Tag} = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta - \vartheta_0} \right)^C} + D \quad \text{mit } \vartheta_0 = 40 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$



**Bild 7-5:** Lastprofile der Haushalts-Verbrauchertypen

Aufgrund der vorhergehend diskutierten Einflüsse ergeben sich Kurven, deren Spreizung sich von Ein- zu Mehrfamilienhäusern und von alten zu neuen Gebäudetypen verkleinert. Die Koeffizienten, die jede der vier Kurven repräsentieren, sind ebenfalls in Bild 7-5 angegeben. Im größten Teil der untersuchten Kollektive waren Verbraucher erfasst, die eine zentrale Versorgung ihres Haushalts zur Raumheizung und Warmwasserbereitstellung aufwiesen. Auf Grund traditioneller Versorgungsstrukturen treten jedoch in einigen Versorgungsnetzen lokal konzentriert Verbraucher auf, die Gas ausschließlich für Heizungszwecke verwenden (der Warmwasserbedarf wird mit anderen Energieträgern, meist dezentral, oft mit Strom, gedeckt). Unter der vereinfachenden Annahme, dass der Warmwasserverbrauch ganzjährig weitgehend konstant ist, können durch Setzen des Koeffizienten D der normierten Funktionen zu 0 Abbildungsvorschriften für diese Verbrauchertypen abgeleitet werden. Die Reduzierung der normierten Kurve entspricht der Eliminierung eines konstanten Verbrauchssockels (absolute Werte).

Wie in Kapitel 8.1 noch gezeigt wird, werden die normierten Verbrauchskurven nach folgender Vorschrift entnormiert:  $W(\vartheta_A) = h(\vartheta_A) \cdot \bar{W} / \bar{h}$ . Dabei ist  $\bar{W}$  der mittlere (absolute) Verbrauchswert im betrachteten Bezugsjahr  $\bar{W} = \sum_{i=1}^T W_i / T$  (T: Anzahl der Tage),  $\bar{h}$  ist der analog gebildete normierte Wert.



Für einen Verbraucher, der einem Lastprofil mit den Koeffizienten A, B, C und D zuzuordnen ist und für den ein Durchschnittsverbrauch von  $\bar{W}_1$  bekannt ist, berechnet sich sein Verbrauch, sofern er Warmwasserverbrauch beinhaltet, folglich zu

$$W_1(\vartheta_A) = \underbrace{\left( \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} + D \right)}_{h_1(\vartheta_A)} \cdot \frac{\bar{W}_1}{\bar{h}_1} \quad (\text{siehe Bild 7-6/ 1})$$

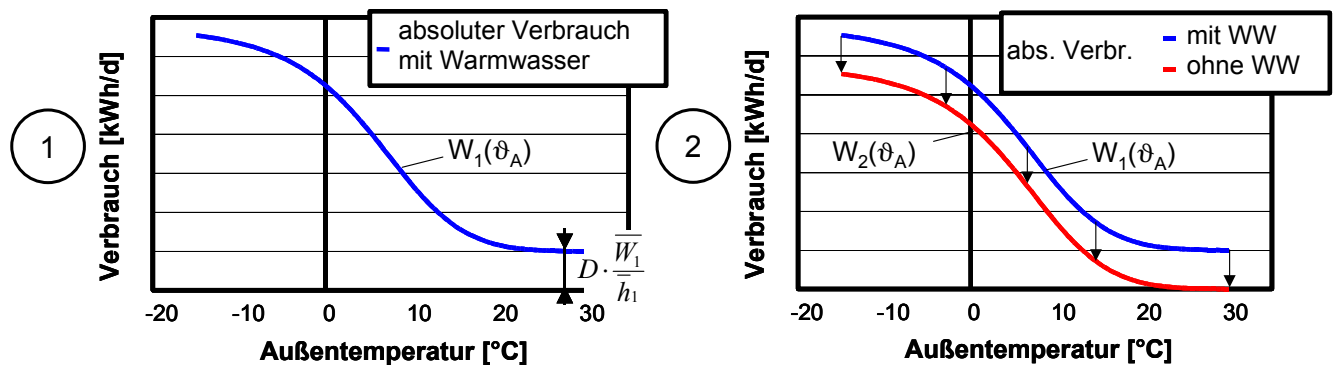
mit:  $\bar{h}_1 = \sum_{i=1}^T h_{1,i} / T$

$h_{1,i}$ : normierter Funktionswert für Tag i, berechnet mit Koeffizient  $D \neq 0$

Damit lässt sich der Warmwasseranteil als  $D \cdot \frac{\bar{W}_1}{\bar{h}_1}$  identifizieren.

Dieser Sockel ist jedem Verbrauchswert abzuziehen, soll aus der Kurve der absoluten Verbrauchswerte für Verbrauch inklusive Raumheizung und Warmwasser der Warmwasseranteil eliminiert werden. Das Resultat ist die in Bild 7-6/ 2 rot eingezeichnete Kurve. Für sie gilt:

$$W_2(\vartheta_A) = W_1(\vartheta_A) \Big|_{D=0} = h_1(\vartheta_A) \Big|_{D=0} \cdot \frac{\bar{W}_1}{\bar{h}_1} = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} \cdot \frac{\bar{W}_1}{\bar{h}_1}$$



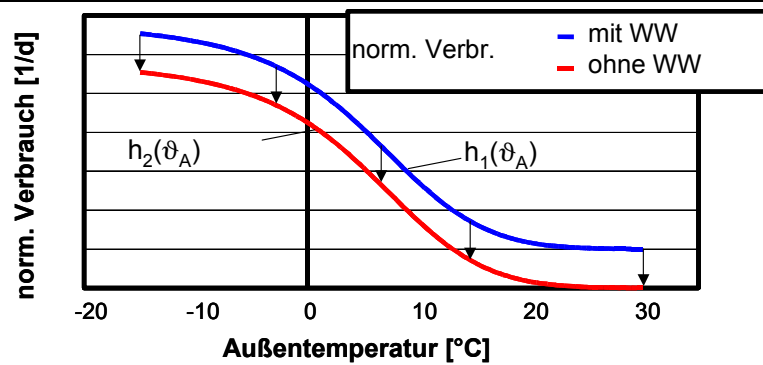
**Bild 7-6:** Eliminierung des Warmwasseranteils bei absoluten Werten

Andererseits ergibt sich für die Abbildung mittels reduziertem (normiertem) Lastprofil ( $D = 0$ , rote Kurve in **Bild 7-7**) die entnormierte Darstellung des Verbrauchs

$$W_2(\vartheta_A) = h_2(\vartheta) \cdot \frac{\bar{W}_2}{\bar{h}_2} = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} \cdot \frac{\bar{W}_2}{\bar{h}_2},$$

wobei in diesem Fall  $\bar{h}_2$  den Mittelwert entsprechend der reduzierten Kurve darstellt:

$$\bar{h}_2 = \frac{\sum_{i=1}^T (h_{1,i} - D)}{T} = \bar{h}_1 - D.$$



**Bild 7-7:** Eliminierung des normierten Konstantanteils

Ein Verbraucher, der ohne Warmwasserversorgung der roten Kurve gehorcht, weist zudem im Jahresdurchschnitt einen gegenüber dem Verbrauch inklusive Warmwasser geringeren mittleren Tagesverbrauch

$$\bar{W}_2 = \frac{\sum_{i=1}^T \left( W_{1,i} - D \cdot \frac{\bar{W}_1}{h_1} \right)}{T} = \bar{W}_1 - D \cdot \frac{\bar{W}_1}{h_1} \text{ auf.}$$

mit:  $W_i$ : mittlerer absoluter Verbrauch für Tag  $i$

Indizes  $_1$ : Berechnung inklusive Warmwasser

$_2$ : Berechnung ohne Warmwasseranteil

Dementsprechend ist

$$W_2(\vartheta_A) = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} \frac{\bar{W}_2}{\bar{h}_2} = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} \frac{\bar{W}_1 \left( 1 - \frac{D}{h_1} \right)}{\bar{h}_1 \left( 1 - \frac{D}{h_1} \right)} = \left( \frac{A}{1 + \left( \frac{b}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} \right) \frac{\bar{W}_1}{\bar{h}_1} = W_1(\vartheta_A) \Big|_{D=0},$$

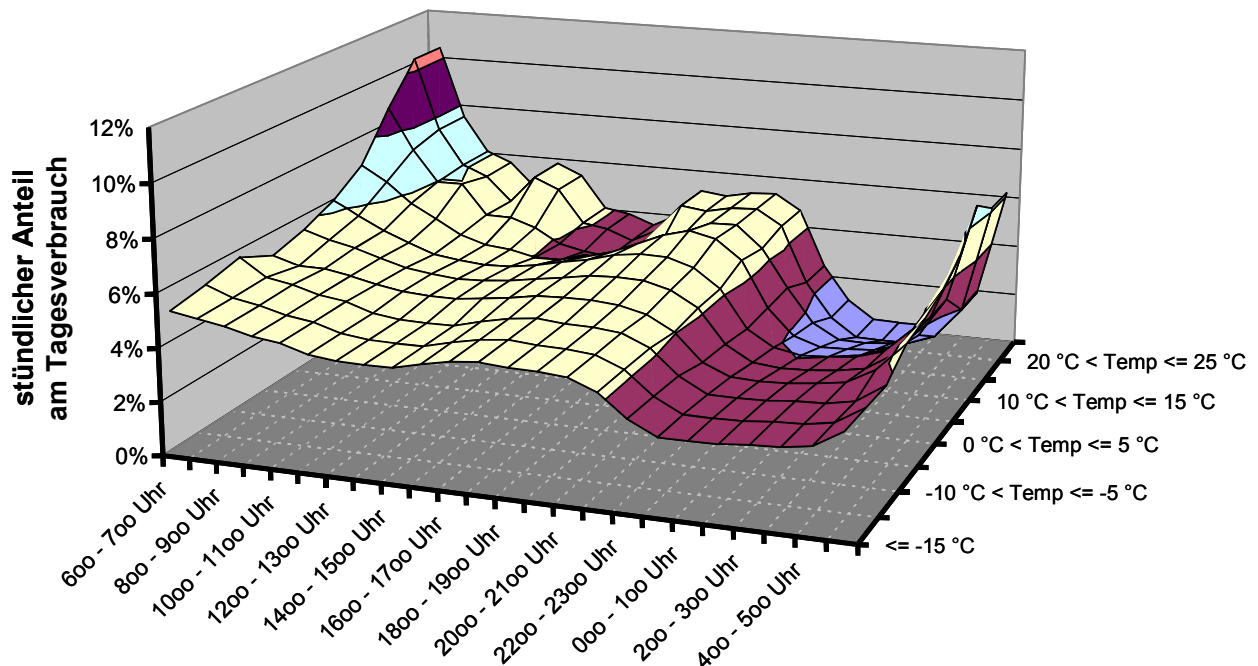
womit die Richtigkeit des Ansatzes nachgewiesen wäre.

### 7.1.2 Abbildung des Stundenverbrauchs

Für die Aufteilung der Tageswerte auf Stunden wurden die Anteile des Stundenbezugs am Tagesbedarf in Temperaturklassen von 5 °C ermittelt und hinterlegt. **Bild 7-8** zeigt diese Verteilung für den Verbrauchertyp Einfamilienhaus Alt, Versorgung mit Raumheizung und Warmwasser.

Bemerkenswert ist der Unterschied zwischen kalten und warmen Temperaturbereichen: je tiefer die Außentemperatur sinkt, desto gleichmäßiger verteilt sich der Verbrauch über den Tag. In warmen Bereichen hingegen sind ausgeprägte Spitzen und Täler des Verbrauchs festzustellen. Dies ist vor dem Hintergrund von Ergebnissen aus / 55 / zu betrachten. In vielen Fällen führt ab dem Bereich der Übergangstemperaturen die Nachtabsenkung der Heizkreisvorlauftemperatur nicht in gewünschtem Umfang zu einem reduzierten Nachtverbrauch. Vielmehr erhöht sich der Durchfluss durch das automatische Öffnen der Thermostatventile. In der Folge verringert sich bei kollektiver Betrachtung das Absinken des Verbrauchs in den Nachtstunden im Vergleich zu sommerlichen Verhältnissen. Vermieden werden kann ein solcher Effekt durch eine verbesserte Regelung, die jedoch erst in Gebäuden neueren Baualters vermehrt zum Einsatz kommt. Daraus folgt, im Lastprofil erkennbar, eine bis in tiefere Temperaturen wirksame

Nachtreduzierung des Verbrauchs bei Haushalten der neueren Baualtersklasse, wie im Vergleich von Bild 7-8 (Altbau) mit **Bild 7-9** (Neubau) zu erkennen ist.



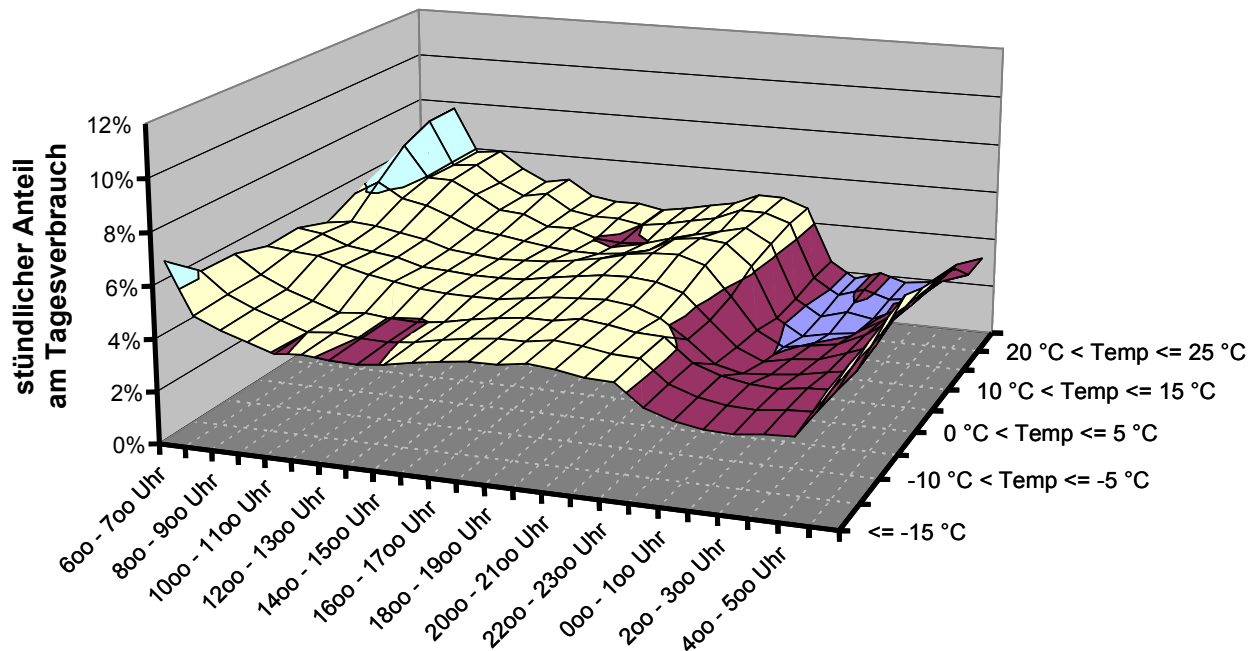
**Bild 7-8:** Stündlicher Anteil am Tagesverbrauch *EFH Alt, Raumheizung und Warmwasser*

Über den gesamten Temperaturbereich, wenngleich im kalten Bereich anteilig weniger ausgeprägt, findet bei Einfamilienhäusern älteren Baualters der höchste Verbrauch morgens zwischen 5<sup>00</sup> und 7<sup>00</sup> Uhr statt. Er dient zum Aufheizen des Gebäudes nach der Nachtabsenkung und zur Erwärmung des Warmwasserspeichers. In den darauf folgenden Stunden sinkt der Bezug etwas (im Sommer auf Grund der Einstrahlung deutlicher) ab. Erst gegen Abend steigt der Verbrauch wieder, bevor er zur Nachtabsenkung deutlich reduziert wird. Dies ist neben der Heimkehr der Bewohner und ihren Heiz- sowie Warmwasserbedarf auf fallende Außentemperaturen in den Abendstunden zurückzuführen. In warmen Temperaturbereichen, in denen der Heizwärmebedarf weniger dominierend ist, gewinnt außerdem eine „Mittagsspitze“ an Bedeutung, die auf heimkehrende Bewohner, den Kochgasverbrauch und mittäglichen Warmwasserbedarf zurückzuführen sein dürfte. Hintergrund dieses typischen Verlaufs ist also ein Zusammenwirken aus anlagentechnischen und verbraucherabhängigen Einflüssen.

Die detaillierten tabellarischen Werte der Stundenverteilungen finden sich im Anhang. Von besonderem Interesse ist der Einfluss des Verbrauchertyps auf den Stundenverlauf. Bereits angesprochen wurde der Einfluss auf die Nachtabsenkung. Zudem fällt bei dem in Bild 7-9 dargestellten Kennfeld der Mehrfamilienhäuser neueren Baualters die geringere Höhe der höchsten Anteilsspitze auf. Insgesamt erscheint die Verbrauchsaufteilung sehr viel ausgeglichener als beim zuvor diskutierten Verbrauchertyp. Strukturell sind jedoch die gleichen Anteile im Kennfeld zu identifizieren: die Morgenspitze, die Nachtabsenkung und eine kleine Mittagsspitze.

Der Grund für diesen Verlauf dürfte wiederum im oben genannten Verbraucherverhalten liegen. Bei Mehrfamilienhäusern weicht die Auslegung der Anlagen signifikant von denen der Einfamilienhäuser ab. So ist zum Beispiel der Anteil der Zirkulationssysteme höher und die Steuerung wird so eingestellt, dass sie sich „am schwächsten Glied“, also dem Verbraucher mit

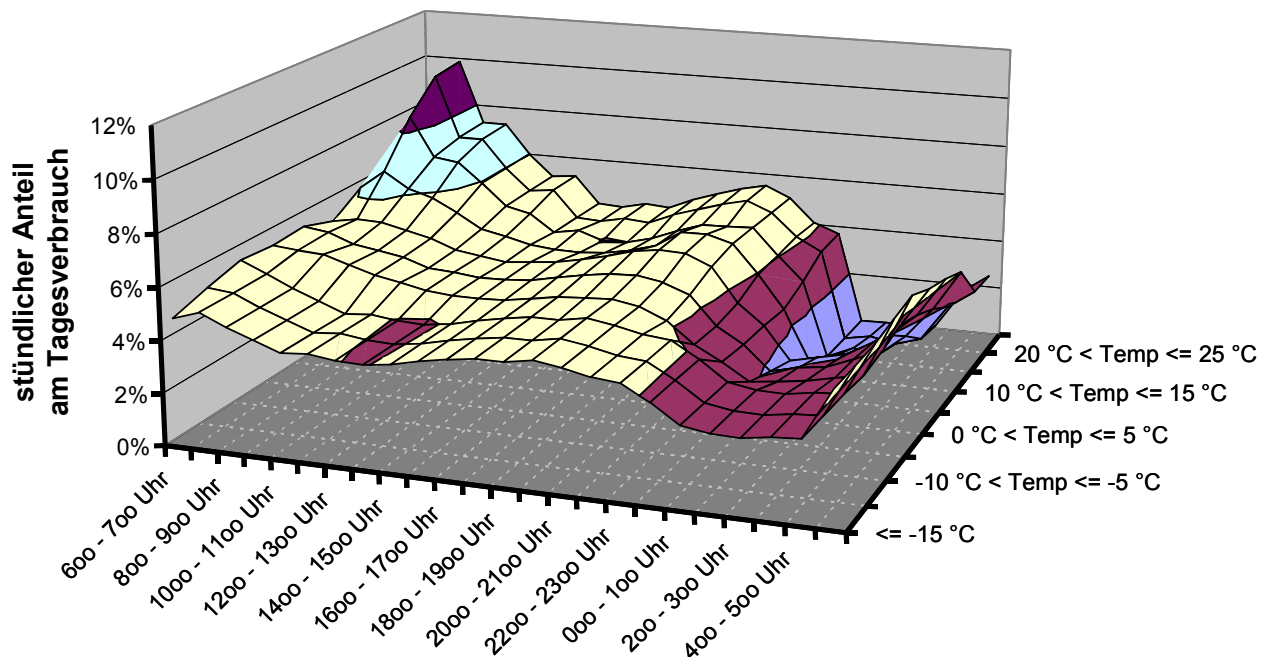
dem größten Wärmebedarf oder dem Verbraucher, der am längsten abends noch Wärme benötigt, orientiert. So ist in Bild 7-9 auch zu erkennen, dass beispielsweise die Nachtabsenkung später (ca. 22<sup>00</sup> Uhr) beginnt als das in Bild 7-8 (ca. 20<sup>00</sup> Uhr) der Fall ist.



**Bild 7-9:** Anteil der Stunden am Tagesverbrauch *MFH Neu, Raumheizung und Warmwasser*

Die Verbrauchertypen *EFH Neu* und *MFH Alt* liegen bezüglich ihres Verbrauchs zwischen den vorgestellten Verhaltensweisen.

Für Kunden, die kein Gas zur Warmwasserbereitstellung verbrauchen, wurde der Warmwasseranteil der Stundenverläufe eliminiert und damit Stundenverlaufsprofile für die Verbrauchertypen *nur Raumheizung* abgeleitet (**Bild 7-10**).



**Bild 7-10:** Anteil der Stunden am Tagesverbrauch *MFH Neu, nur Raumheizung*

Der deutlich reduzierte sommerliche Verbrauch bewirkt eine etwas ausgeprägtere Morgenspitze, die auf das im Kollektiv verbleibende Anfahren von Heizanlagen zurückzuführen ist. Au-

Berdem ist hier eine deutlich ausgeprägtere Nachtabsenkung zu verzeichnen. Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern ist dies durch das Wegfallen der ansonsten relativ kontinuierlich notwendigen Warmwasserbereitstellung bedingt.

## 7.2. Gewerbe, Handel und Dienstleistung

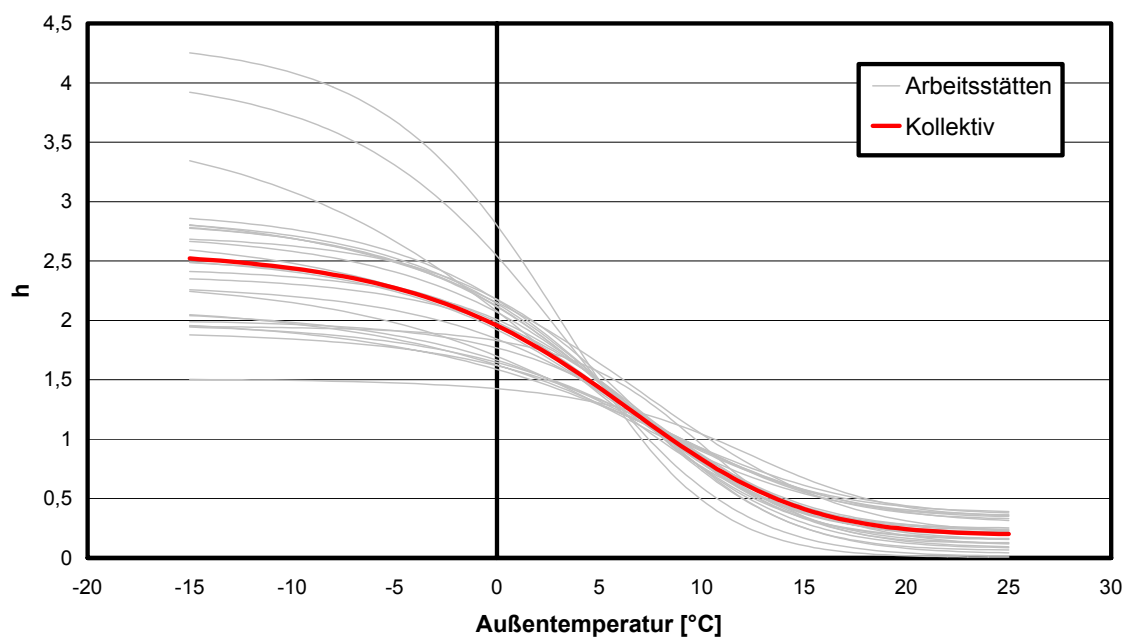
Für die Kunden aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung lagen Verbrauchswerte einzelner Arbeitsstätten für alle abzubildenden Kategorien zur Auswertung vor.

### 7.2.1 Abbildung des Tagesverbrauchs

Die Abbildung der Temperaturabhängigkeit der Verbrauchertypen geschieht äquivalent der oben beschriebenen Vorgehensweise bei Haushalten, wobei jedoch auf die Einbeziehung von Kollektiven verzichtet werden musste. **Bild 7-11** zeigt den Verlauf der Tages-Regressionsfunktionen aller Verbraucher des Verbrauchertyps Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime. Als Resultierende wurde die rote Kurve ermittelt. Sie repräsentiert alle eingebundenen Verbraucher und stellt somit die Kurve eines virtuellen „Kollektivs“ dieses Verbrauchertyps dar. Wie auch bei Haushalten festgestellt wurde, zeigen einzelne Einzelverbraucher teils wesentlich größere (Faktor > 1,5), teils aber auch kleinere Spreizungen als Aggregationen vieler Kunden.

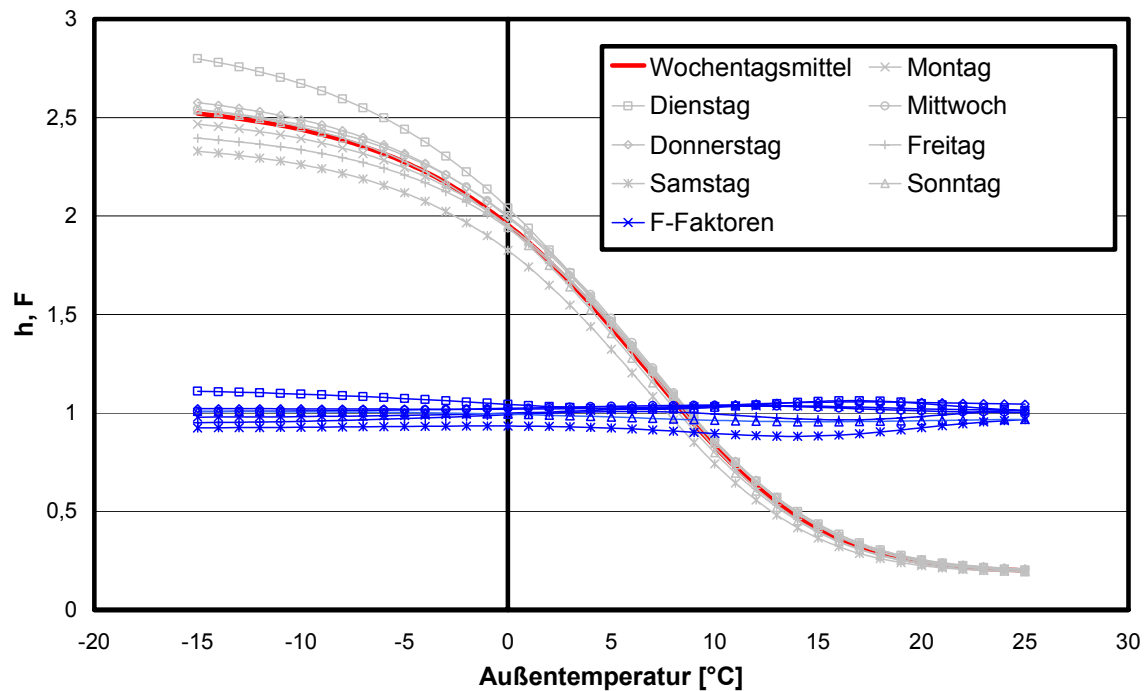
Die dargestellten Kurven bilden die Regression unabhängig vom Wochentag ab. Für die Kollektivkurve gilt

$$h_{\text{Tag}} = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} + D = \frac{2,42}{1 + \left( \frac{-34,8}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^{7,01}} + 0,19$$



**Bild 7-11:** Einzelarbeitsstätten und Kollektivkurve,  
Verbrauchertyp *Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime*

Im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung ist eine deutliche Abhängigkeit vom Wochentag zu berücksichtigen. Zusätzlich zum Wochenmittel wurde deshalb die Regressionsrechnung für alle Tage einzeln durchgeführt.



**Bild 7-12:** Regressionskurven der Wochentage und Wochentagsfaktoren F des Kollektivs Verbrauchertyp Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime

**Bild 7-12** zeigt für das Kollektiv aus Bild 7-11 die Regressionskurven für die einzelnen Wochentage sowie das Verhältnis F der Wochentagskurven zum Wochenmittel.

$$F_{\text{Wochentag}}(\vartheta_A) = h_{\text{Wochentag}}(\vartheta_A) / h_{\text{Wochenmittel}}(\vartheta_A)$$

Indizes: Wochentag: für einzelne Wochentage Montag ... Sonntag

Wochenmittel: für das Mittel ohne Berücksichtigung der Wochentagsabhängigkeit

Wie zu erkennen ist, schwankt das Verhältnis der Wochentagskurven zum Wochenmittel über den gesamten Außentemperatur-Bereich kaum. Da dies für alle Verbraucherkategorien in ähnlicher Weise festzustellen war, wurde die Wochentagsabhängigkeit im Tagesverbrauch durch das mittlere F des Wochentags angenähert. Er wird als multiplikativer Faktor in die Abbildungsvorschrift eingefügt.

$$h_{\text{Wochentag}} = F_{\text{Wochentag}} \cdot \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} + D$$

mit:  $F$  : Mittelwert über den gesamten Außentemperaturbereich

Gewichtet man die Wochentagsfaktoren mit der Häufigkeit des Auftretens der Wochentage im betrachteten Zeitraum, muss sich ein Mittelwert von 1 ergeben, damit Bilanzgleichheit sichergestellt ist. Wird der Zeitraum eines ganzen Jahres betrachtet, wodurch eine Ungleichverteilung

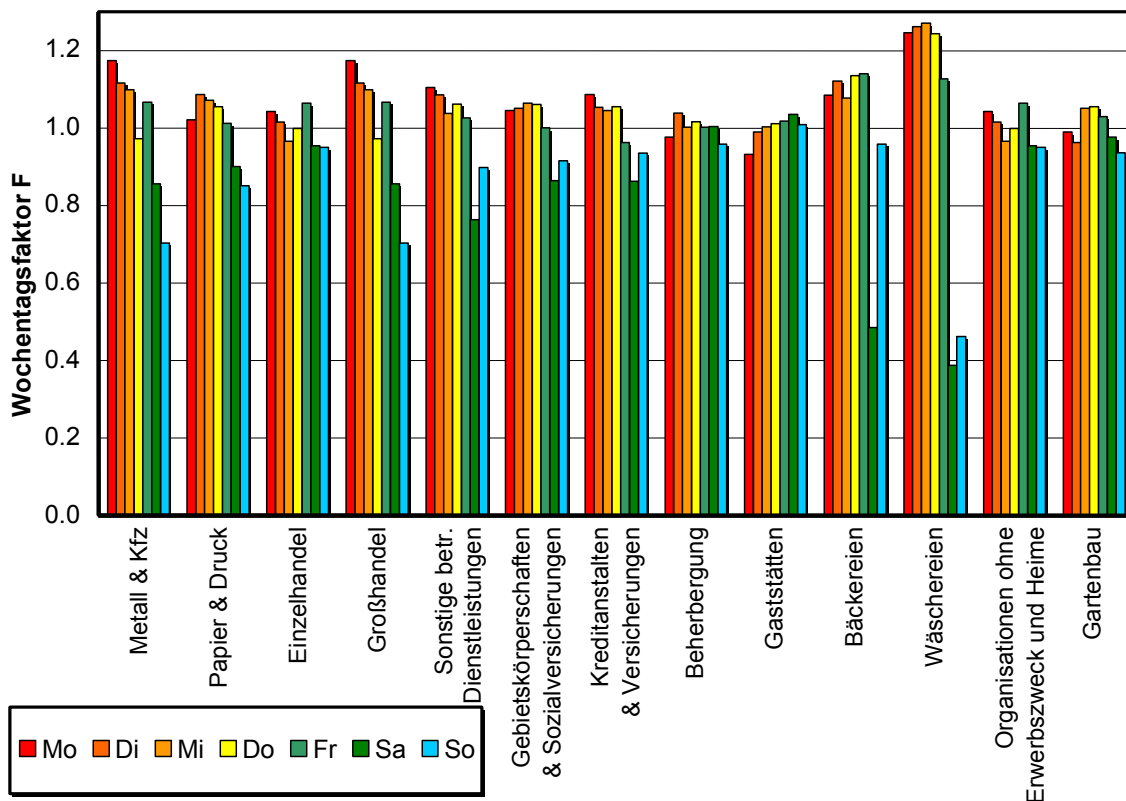
der Wochentage weitgehend vernachlässigt werden kann, ergibt sich entsprechend der Mittelwert aller Wochentagsfaktoren näherungsweise zu 1:

$$\sum_{\text{Wochentag}=1}^7 F / 7 \approx 1.$$

Für alle untersuchten Kategorien sind die Werte in **Bild 7-13** dargestellt. Wäre für eine Kategorie kein Einfluss des Wochentags festgestellt worden (wie zum Beispiel für die Haushalte), wären hier folglich alle Werte für F mit 1 wiederzufinden.

Für fast alle Branchen ist am Wochenende, bedingt durch die Öffnungszeiten, ein deutlicher Rückgang des Verbrauchs zu verzeichnen. Eine Ausnahme bildet das Gaststättengewerbe, teilweise auch das Beherbergungsgewerbe, wo der Wochenendverbrauch gleichauf oder über dem der übrigen Wochentage liegt. Das erscheint plausibel, da diese Branchen gerade am Wochenende höhere oder zumindest nicht reduzierte Geschäftstätigkeiten haben.

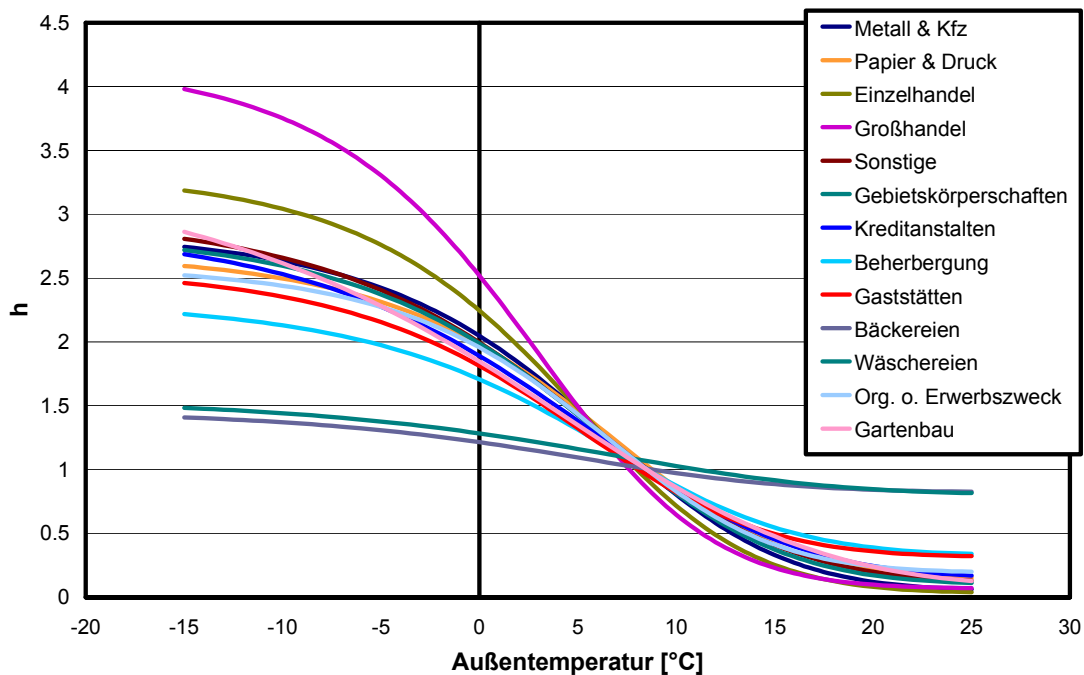
Die deutlichsten Wochenendreduktionen sind erwartungsgemäß bei den Kategorien Bäckereien und Wäschereien zu verzeichnen. Da hier der Prozessenergieanteil besonders hoch ist, wirkt sich ein Wegfall von Wasch- oder Backverbrauch entsprechend stärker aus. Bei den Bäckereien macht sich eine Besonderheit bemerkbar, die auf die Bilanzierung des Gastags („6<sup>00</sup> – 30<sup>00</sup> Uhr“) zurückzuführen ist. Der Sonntagsverbrauch liegt deutlich über dem Samstag, fast auf dem Niveau der Werktage. Der Verbrauch enthält die Werte der ersten 6 Nachtstunden des kalendarischen Montags, die einen Großteil des Tagesverbrauchs bei den Bäckereien ausmachen. Somit ist der erhöhte Sonntagsverbrauch auf den Geschäftstag Montag zurückzuführen.



**Bild 7-13:** Wochentagsfaktoren der untersuchten Verbrauchergruppen

Die Wochentagsfaktoren der übrigen Kategorien verhalten sich weitgehend ähnlich. Je nach branchenüblichen Gebräuchen erscheinen einzelne Tage mehr oder weniger gewichtet, jedoch innerhalb relativ geringer Bandbreiten. Während der Montag uneinheitlich einen teilweise über-, teilweise unterdurchschnittlichen Verbrauchsanteil hat, zeigen die Werktage Dienstag bis Mittwoch innerhalb nahezu aller Kategorien gleiches Verbrauchsverhalten. Die Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime lassen insgesamt keine ausgeprägte Wochentagsabhängigkeit im Tagesverbrauch erkennen. Interessanterweise weisen die sonstigen betrieblichen Dienstleistungen, die durch den Verbrauch der Friseure dominiert werden, an keinem Werktag reduzierten Verbrauch auf, wie dies unter Umständen für den Montag zu vermuten gewesen wäre. Allerdings machen sich hier, wie nachfolgend noch gezeigt wird, die immer noch branchentypischen Öffnungszeiten in den Stundenverläufen bemerkbar.

Die Abbildung von Feiertagen und Urlaubszeiträumen ist problematisch. Zwar wurde grundsätzlich an Feiertagen ein dem Sonntag äquivalentes Verhalten festgestellt; dementsprechend werden die beiden Tagtypen auch identisch abgebildet. Allerdings wurden dabei nur bundesweit einheitliche Feiertage untersucht. Eine Abbildung aller lokalen Feiertage sowie der lokalen Ausprägung der bundeseinheitlichen Feiertage musste hingegen auf Grund der Vielzahl möglicher Variationen unterbleiben. Die Urlaubsabwesenheit, die bereits für Haushaltskunden Auswirkungen hat, wirkt sich für Arbeitsstätten, insbesondere im Fall einer Betriebsruhe ungleich stärker aus. Hier konnte keine einheitliche Abbildungsmöglichkeit gefunden werden. Eine Lösung bietet nur die Einbindung zusätzlichen Detailwissens. **Bild 7-14** zeigt die Wochenmittel-Kollektivkurven aller abgebildeten Kategorien.

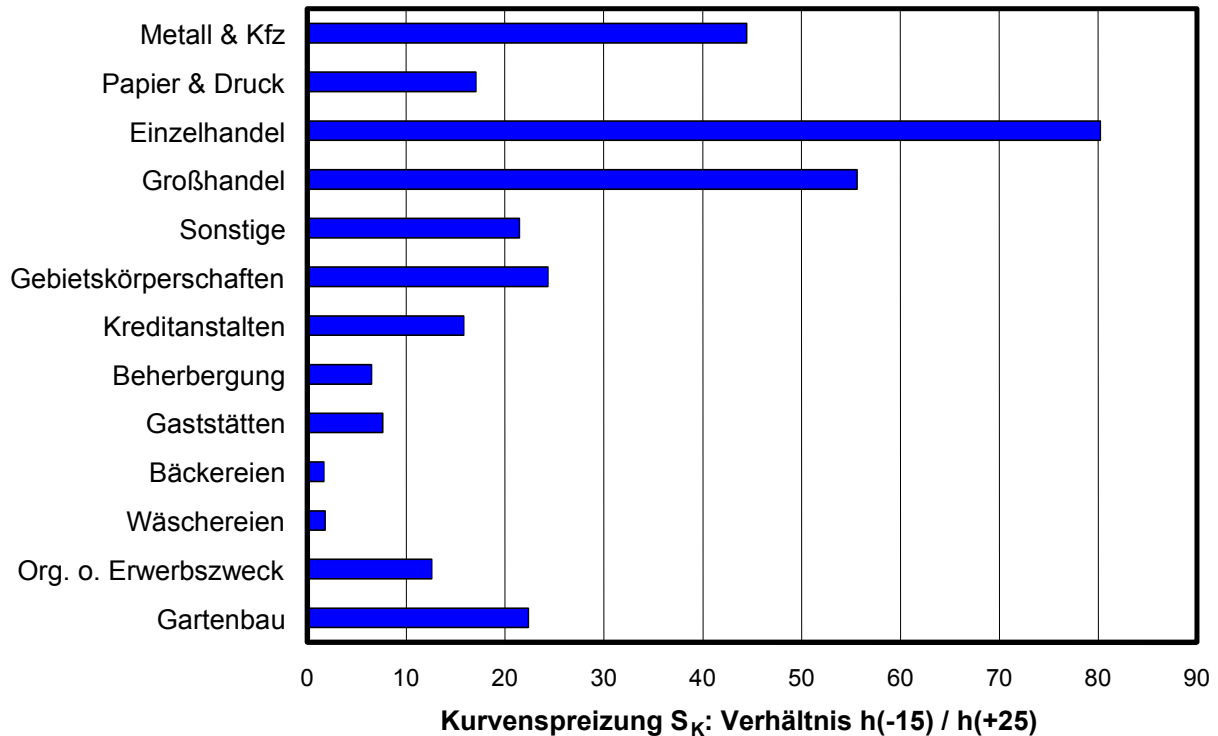


**Bild 7-14:** Wochenmittel-Kollektivkurven aller abgebildeten Kategorien



Wie deutlich zu sehen ist, sind die Unterschiede im Verhalten teilweise erheblich, es gibt jedoch auch Verbraucherkategorien, bei denen die Abhängigkeit des Tagesverbrauchs von der Außentemperatur sich ähnlich darstellt. **Bild 7-15** gibt die Spreizung  $S_K$  der verschiedenen Kategorien im Vergleich an.

Wie bei den Haushaltsverbrauchern zeigt eine geringe Spreizung der Funktionen zwischen kalten und warmen Bereichen ein relativ hohes Gewicht des sommerlichen Verbrauchs im Verhältnis zum Gesamtverbrauch auf, was ein Anzeichen für Prozessenergieeinsatz (auch Warmwasser) oder sommerliche Temperierung ist.



**Bild 7-15:** Spreizung  $S_K$  zwischen sommerlichem und winterlichem Verbrauch für alle Kategorien

Augenfällig sind einerseits die Verbrauchergruppen Bäckereien und Wäschereien mit den am schwächsten gespreizten Funktionen. Bei diesen Verbrauchern spielt die Heizwärmebereitstellung eine untergeordnete Rolle gegenüber dem Prozessenergiebedarf. Am anderen Ende der Bandbreite der Regressionsfunktionen finden sich Einzel- und Großhandel. Hier spielt der sommerliche Verbrauch kaum eine Rolle, Gas wird zum Beheizen von Verkaufs- und Lageräumen eingesetzt, wobei der Bedarf verhältnismäßig höher als bei vergleichbaren Verbraucherkategorien liegt. Dabei wird erhöhter Aufwand zur winterlichen Temperierung betrieben, während der Einfluss innerer Wärmequellen gerade in der Übergangszeit einen steileren Verlauf der Kurve bewirkt. Auf Grund des geringen sommerlichen Anteils steht zu vermuten, dass, soweit die Räumlichkeiten klimatisiert werden, es nicht mit gasbetriebenen Anlagen geschieht.

### 7.2.2 Abbildung des Stundenverbrauchs

Im Folgenden werden die Stundenprofile der einzelnen Verbraucherkategorien diskutiert. Die Betrachtungen erfolgen an Hand des Verlaufs der normierten Verbrauchswerte, d.h., unter Berücksichtigung der Gewichtung der stündlichen Anteile SF mit den sigmoiden Tagesfunktionen sowie den Wochentagsfaktoren.

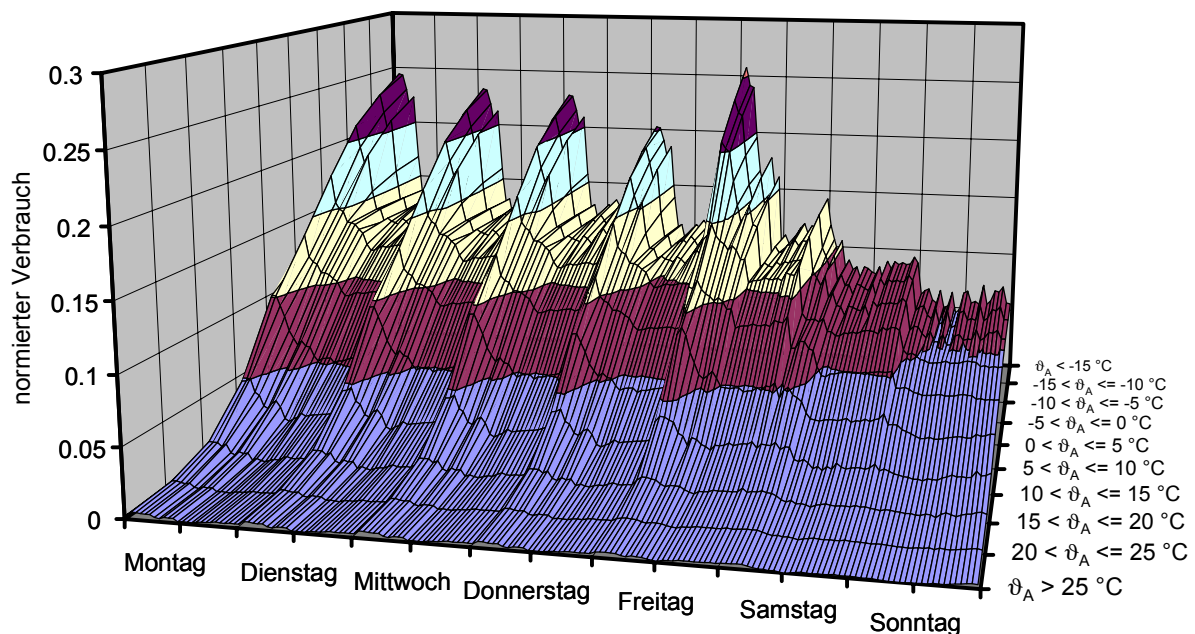
$$h_{\text{Stunde}} = h_{\text{Tag}} \cdot SF = F \cdot \left( \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} + D \right) \cdot SF$$

Der dargestellte Verbrauch weist einen „durchschnittlichen Tagesverbrauch“ von 1 auf und stellt einen „Normverbraucher“ dar. Die unterschiedlichen Kategorien sind insofern direkt miteinander vergleichbar, als der gleiche Verbrauchsstandort, -zeitraum und „Jahresverbrauch“ unterstellt wurde, was sicher nicht in allen Fällen plausibel begründbar ist, die Darstellung jedoch erheblich vereinfacht.

Wie bei den Haushalten wird nicht jede Kategorie gleich detailliert vorgestellt, vielmehr wird an Hand ausgewählter Beispiele versucht, die Einflussmechanismen aufzuzeigen und Unterschiede zu identifizieren. Detaillierte Tabellen für alle Kategorien finden sich im Anhang.

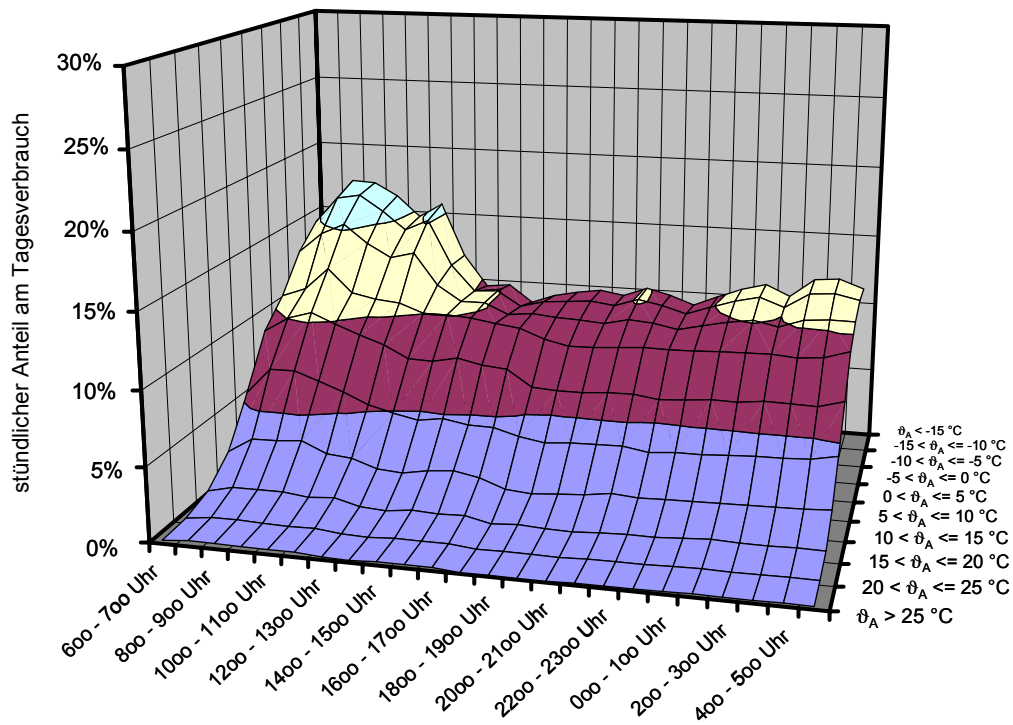
**Bild 7-16** zeigt den stündlichen Verbrauch eines Normverbrauchers für alle Tage der Woche. In dieser Verbraucherkategorie (Metall & Kfz) ist dabei deutlich der reduzierte und gleichmäßigere Verbrauch an Wochenenden festzustellen. An Samstagen und Sonntagen wird nicht gearbeitet, somit reduziert sich der Gasbedarf. Der Verlauf an Wochentagen zwischen Montag und Freitag ist einheitlich, für Montag ist der Verlauf detailliert in **Bild 7-17** dargestellt.

a) Metall & Kfz



**Bild 7-16:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Metall & Kfz

Zwischen 7<sup>00</sup> und 14<sup>00</sup> Uhr ist ein erhöhter Verbrauch durch die Heizungsanlage sowie ein leichte Mittagsspitze auf Grund des Warmwasserbedarfes zu verzeichnen. Der höchste Bezug erfolgt etwa um 8<sup>00</sup> Uhr. Das Profil lässt keinen nennenswerten Einfluss von Prozessenergieeinsatz erkennen. Bei der betrachteten Gruppe der Kleinverbraucher erscheint das plausibel. Der bereits in den nächtlichen Morgenstunden etwas erhöhte Bedarf ist freitags nicht zu bemerken. An Samstagen und Sonntagen entfällt zudem der morgendliche erhöhte Bezug, so dass sich ein sehr ausgeglichener Verbrauchsverlauf ergibt.

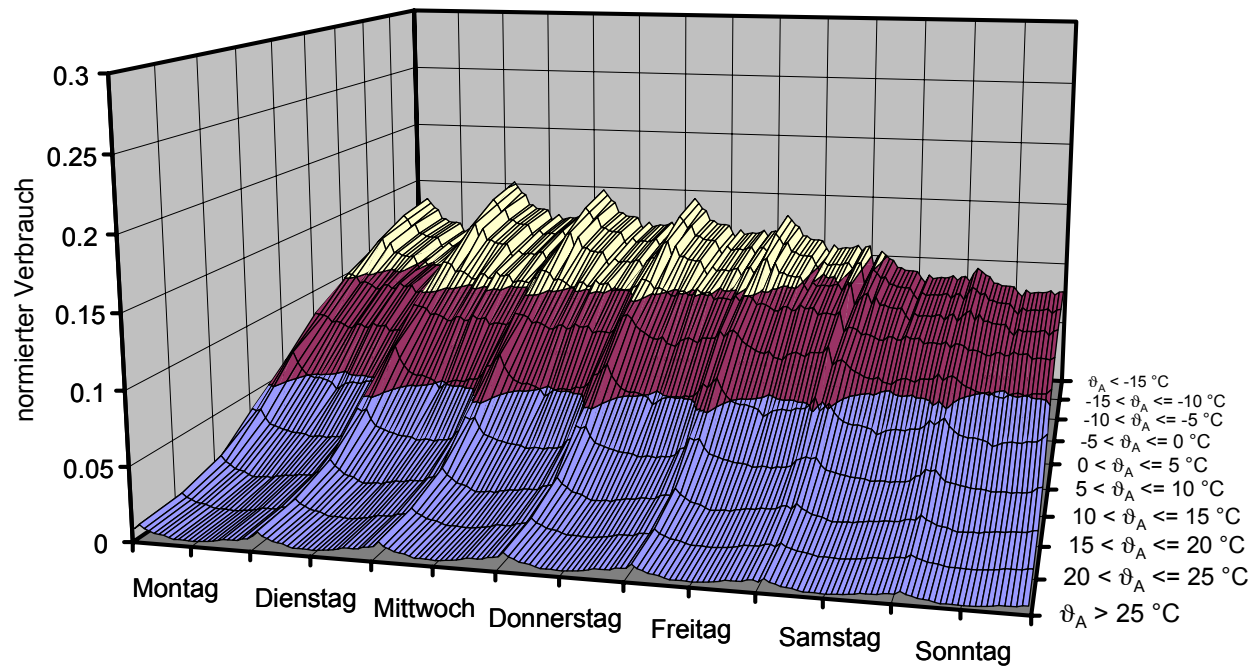


**Bild 7-17:** Verlauf der stündlichen Anteile am Tagesverbrauch/  
Wochentag (Montag bis Donnerstag) – Metall & Kfz

Der qualitative Verlauf des Profils kann als typisch für eine große Anzahl von Verbrauchsverläufen bezeichnet werden, resultierend aus den Grundverbrauchsanteilen ohne wesentlichen Prozessenergieeinsatz. In Variationen, die auf branchenspezifische Einflussfaktoren wie Öffnungszeiten oder Wochentagsabhängigkeit zurückzuführen sind, findet sich diese Grundform bei vielen Verbrauchertypen wieder.

#### b) Papier & Druck

Auch im Papier- und Druckgewerbe ist am Wochenende (Samstag und Sonntag) ein gegenüber der Woche deutlich reduzierter Verbrauch zu verzeichnen. Der Montag zeigt etwas, der Freitag deutlich weniger Verbrauch als die Tage Dienstag bis Donnerstag. **Bild 7-18** zeigt den Verlauf für die ganze Woche. Der Verbrauchertyp Papier & Druck weist generell einen sehr viel ausgeglicheneren Stundenverbrauchsverlauf als Metall & Kfz auf, der vormittägliche Verbrauch ist weniger ausgeprägt.



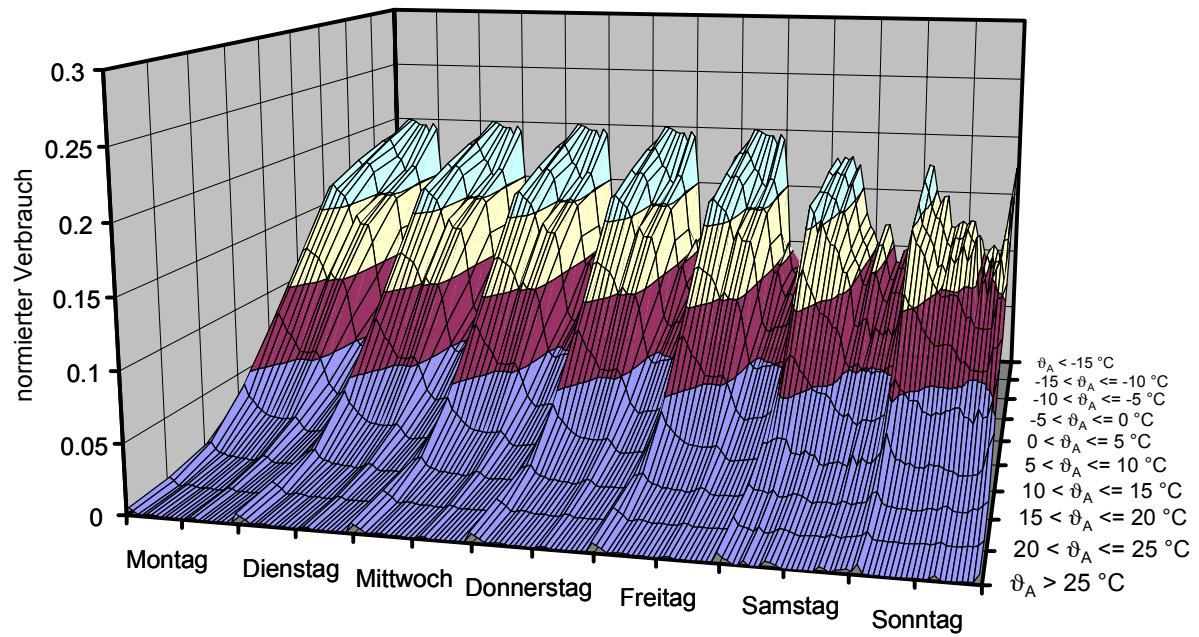
**Bild 7-18:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte Papier & Druck

Dies lässt darauf schließen, dass der morgendliche Arbeitsbeginn sich wesentlich weniger einheitlich gestaltet (Gleitzeit), so dass sich die morgendliche Spitze verteilt. Der Warmwasserbedarf hingegen scheint relativ höher als bei Metall & Kfz zu liegen, da bei sommerlichen Temperaturen deutlicher eine Spitze erhalten bleibt und zugleich der Höhepunkt der Morgenspitze etwas nach vorne wandert, was mit der Speicheraufladung plausibel begründbar ist.

Nach der Vormittagsspitze, die ihr Maximum etwa um 9<sup>00</sup> bis 10<sup>00</sup> Uhr hat, ist ein Absinken des Verbrauchs erst ab circa 18<sup>00</sup> bis 19<sup>00</sup> Uhr zu verzeichnen: sowohl der Arbeitszeitbeginn als auch das –ende nehmen einen Zeitraum von mehreren Stunden ein.

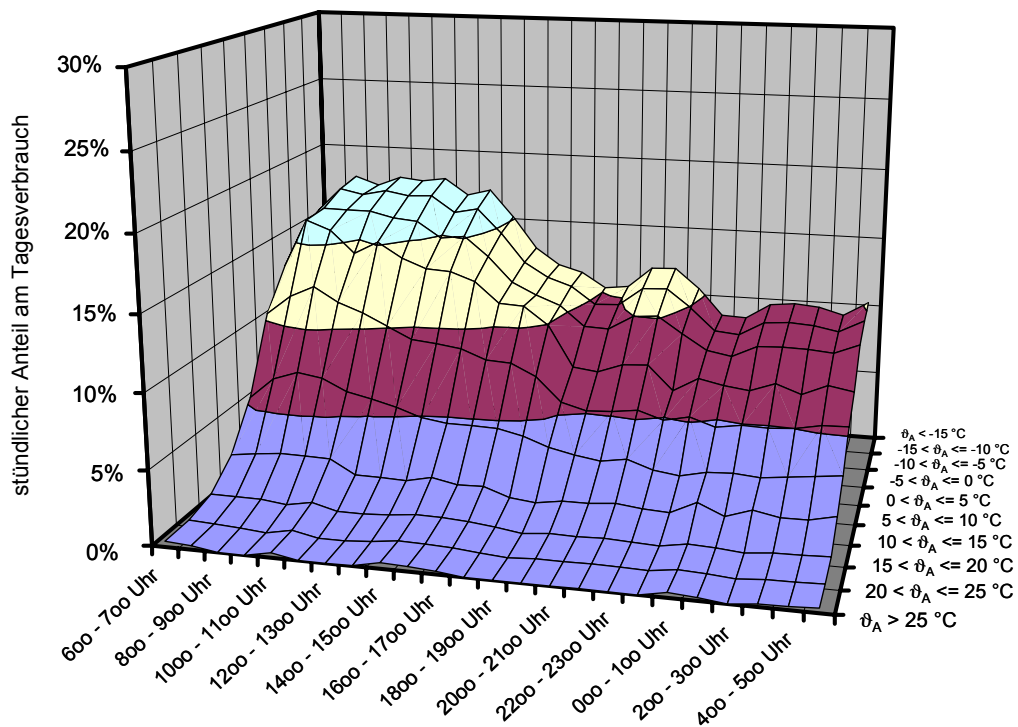
### c) Einzelhandel

Im Einzelhandel ist der Unterschied zwischen dem stündlichen Verbrauchsverlauf der einzelnen Wochentage sehr viel geringer ausgeprägt als bei den zuvor betrachteten Kategorien. Zwischen Montag und Freitag sind kaum Unterschiede zu verzeichnen, aber auch der Samstag zeigt einen nur leicht verringerten Verbrauch. Auf Grund der dort vorherrschenden Öffnungszeiten erscheint dies plausibel. Selbst am Sonntag ist morgens zunächst ein Aufheizen des Systems zu verzeichnen, wenn auch in geringerem Umfang als an Wochentagen. Danach fällt hier der Verbrauch doch deutlich schneller ab als an den übrigen Tagen.



**Bild 7-19:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Einzelhandel

Die Wochentage von Montag bis Freitag zeigen einen breiten Sockel für den Tagesbedarf, der erst um circa 19<sup>00</sup> bis 20<sup>00</sup> Uhr in den Bereich der Nachtabsenkung übergeht. Wie bereits bei dem Verlauf der Tagesverbrauchskurven erläutert wurde, muss im Einzelhandel teilweise erhöhter Aufwand zur Temperierung betrieben werden. Dies äußert sich beim stündlichen Verlauf in der größeren Differenz zwischen Tages- und Nachtverbrauch.



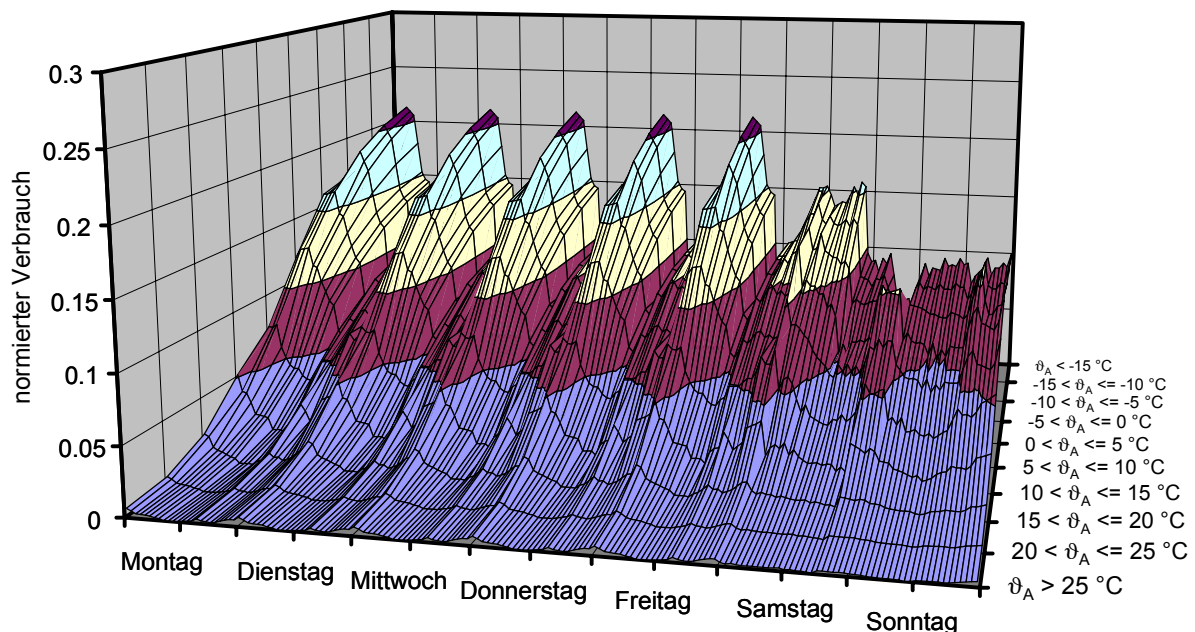
**Bild 7-20:** Verlauf der stündlichen Anteile am Tagesverbrauch/ Samstag – Einzelhandel

Auch im Einzelhandel ist kaum Prozessgaseinsatz oder eine Aufladung eines Warmwasserspeichers zu verzeichnen. Zusätzlich erklärt sich das völlige Ausbleiben einer eindeutigen

Verbrauchsspitze durch die relativ weite Bandbreite der in der Verbraucherkategorie Einzelhandel enthaltenen Betriebe. Arbeitsbeginn und –ende können für jeden Einzelbetrieb einheitlich oder gleitend sowie relativ früh beziehungsweise spät erfolgen. Besonders deutlich ist dies, wie **Bild 7-20** zeigt, an Samstagen festzustellen. Während bis etwa 14<sup>00</sup> Uhr der Verbrauch gleichbleibend hoch ist, da nahezu alle Geschäfte geöffnet haben, sind zwischen 14<sup>00</sup> und 16<sup>00</sup> Uhr deutliche Einschnitte zu verzeichnen.

#### d) Großhandel

Im Großhandel wirken grundsätzlich ähnliche Faktoren auf den Verbrauchsverlauf ein wie im Einzelhandel. So verhalten sich die Wochentage Montag bis Freitag ähnlich gleichförmig, der Samstag hat einen höheren Verbrauch als der sehr niedrige und gleichmäßige sonntägliche Verbrauch, beide liegen jedoch unter Werktagsniveau. Auf Grund der anderen Öffnungszeiten liegt die Spitze des Tagesbedarfs etwas verzögert bei etwa 10<sup>00</sup> Uhr. Nach 16<sup>00</sup> Uhr ist eine deutliche Reduzierung des Bezugs zu verzeichnen.

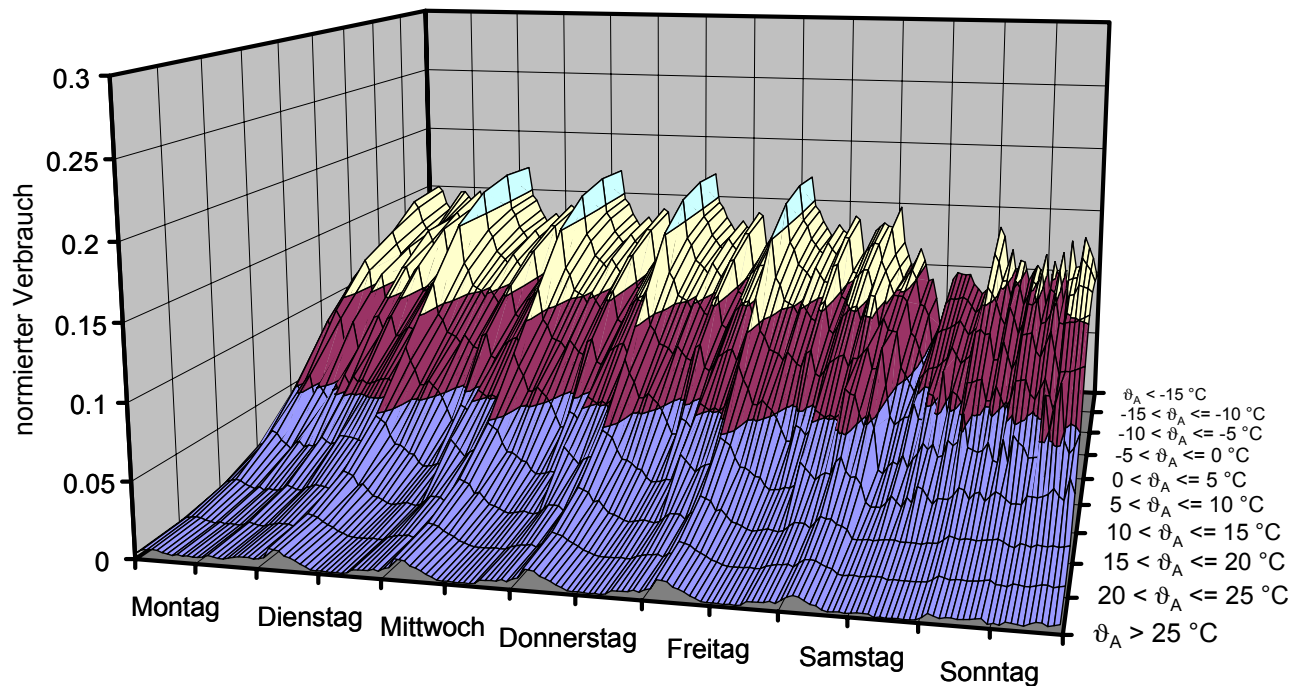


**Bild 7-21:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Großhandel

#### e) Sonstige betriebliche Dienstleistungen

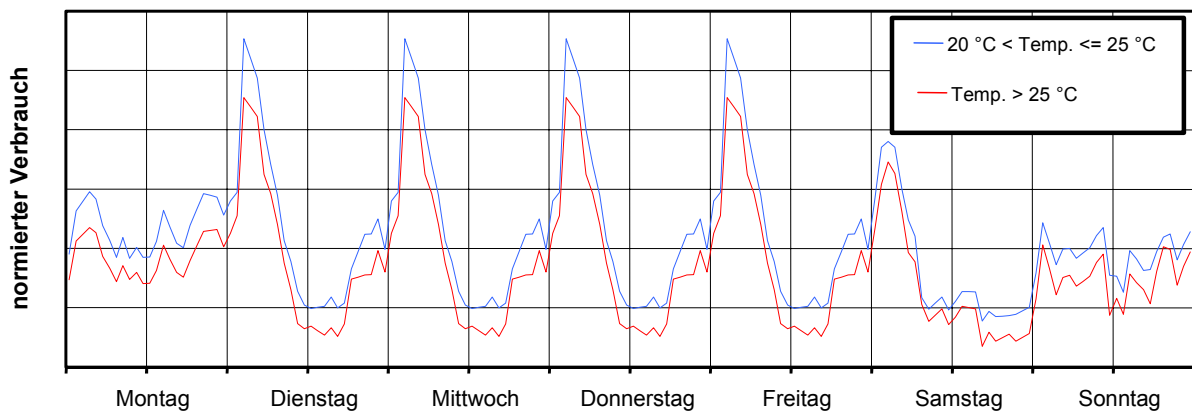
Unter sonstige betriebliche Dienstleistungen ist eine Gruppe von Branchen zusammengefasst, deren Verbrauch durch den Bezug der Friseurie dominiert wird. So ist es nicht erstaunlich, dass montags eine etwas reduzierte Verbrauchsspitze gegenüber den anderen Wochentagen auftritt, die auf die noch immer verbreitete traditionelle Schließung am Montag in der Verbrauchergruppe zurückzuführen ist.

Wie Bild 7-13 gezeigt hat, ist dies jedoch nicht gleichbedeutend mit einem niedrigeren Tagesverbrauch. Der Montag weist sogar (wenngleich die F-Faktoren der Branche sehr ausgeglichen sind) den höchsten Wochentagsfaktor auf.



**Bild 7-22:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – sonstige betriebliche Dienstleistungen

Das Gas wird jedoch weniger in Prozessenergie (Warmwasser) umgesetzt, wodurch hohe Verbrauchsspitzen entstünden als in die Wärmebedarfsdeckung. Dementsprechend bleibt, wie in **Bild 7-23** deutlich zu erkennen, eine Morgenspitze an Montagen aus.

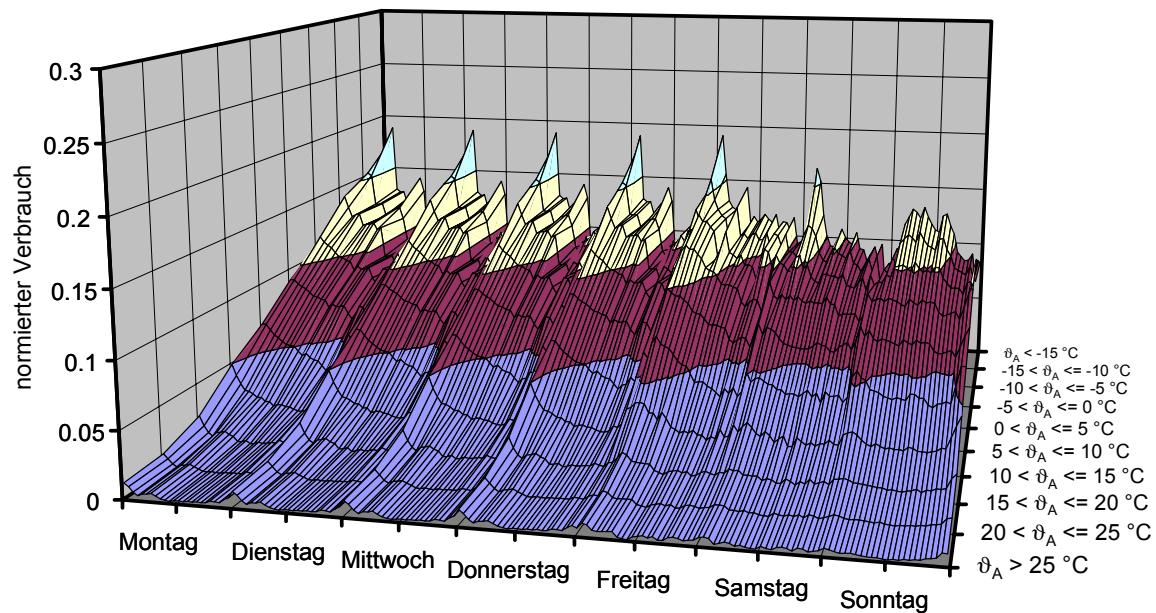


**Bild 7-23:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – warmer Temperaturbereich sonstige betriebliche Dienstleistungen

An Samstagen und Sonntagen ist der Bedarf gegenüber Werktagen reduziert. Bei kalten Temperaturen an Werktagen (außer Montag) ist eine Warmwasserspitze ausgeprägter als bei den bisher diskutierten Verbraucher-kategorien zu verzeichnen, was auf Grund des Einflusses der Friseure, die große Mengen Warmwasser benötigen, plausibel erscheint.

## f) Gebietskörperschaften &amp; Sozialversicherungen

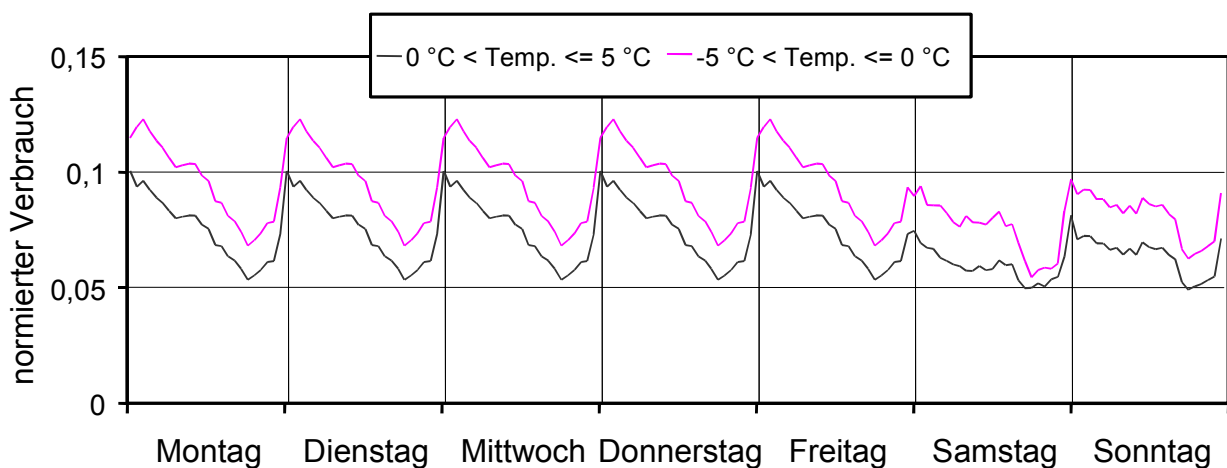
Montags bis freitags zeigen die Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen zwischen 7<sup>00</sup> und 18<sup>00</sup> Uhr einen typischen Tagesverbrauch mit morgendlicher Spitze, an Samstagen und Sonntagen herrscht reduzierter Verbrauch, wie **Bild 7-24** veranschaulicht.



**Bild 7-24:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Übergangsbereich Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen

## g) Kreditanstalten &amp; Versicherungen

Dasselbe gilt im Prinzip auch für Kreditanstalten & Versicherungen. Die Geschäftszeiten zwischen etwa 8<sup>00</sup> und 18<sup>00</sup> Uhr sind im Verbrauchsverlauf deutlich wiederzufinden. Samstags und sonntags ist hingegen ein nahezu ausgeglichener Verbrauch festzustellen, in den Nachtstunden des Sonntags auf Grund der Gastbilanzierung bereits wieder etwas ansteigend.



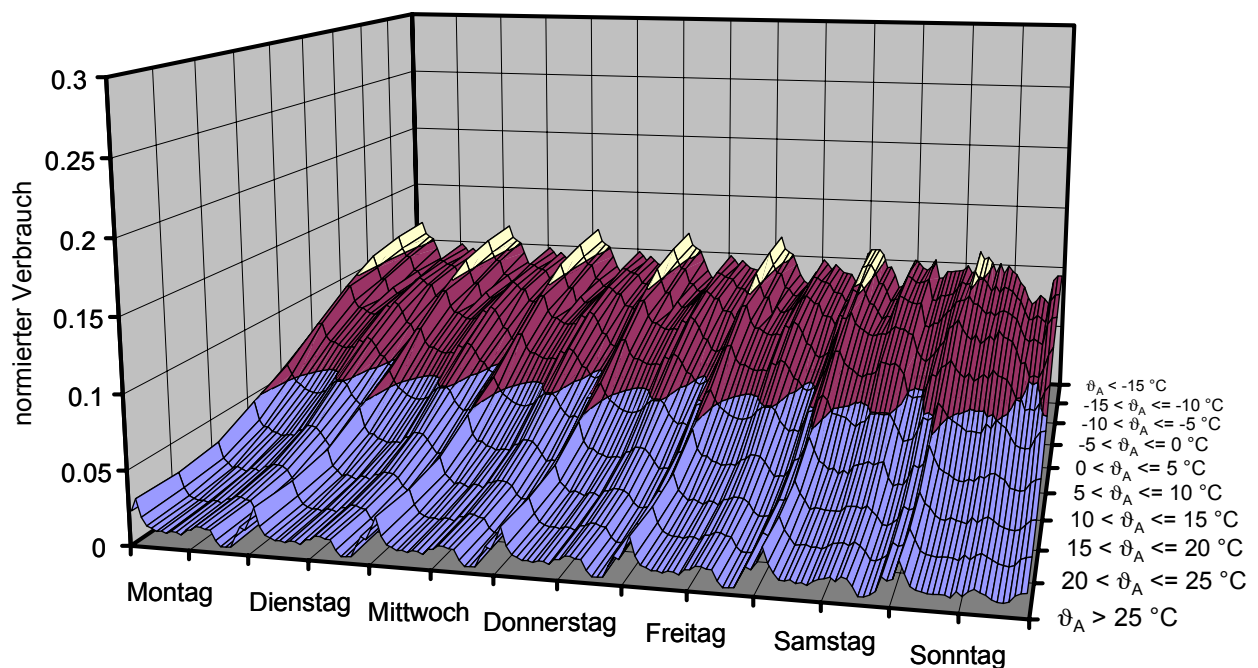
**Bild 7-25:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Übergangsbereich Kreditanstalten & Versicherungen



Die beiden Kategorien Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen und Kreditanstalten & Versicherungen – in **Bild 7-25** ist der Temperaturbereich zwischen  $-5$  und  $+5$  °C für letztere Kategorie gezeigt – zeigen somit typische „Bürolastgänge“, die sich nur auf Grund der Verkehrs- und Öffnungszeiten etwas unterscheiden. Auf dieser Basis ist die Ableitung einer Reihe weiterer, bisher noch nicht abgebildeter Verbrauchertypen einfach. Anwendungsbeispiele könnten dementsprechend zum Beispiel Bürogebäude (unter Berücksichtigung der dort herrschenden Verkehrszeiten) sein.

#### h) Beherbergung

In der Kategorie Beherbergung kann nach **Bild 7-26** nahezu kein Unterschied zwischen den Wochentagen und dem Wochenende festgestellt werden. Sowohl die morgendlichen Verbrauchsanteile sowie die Verteilung über den Tag können als typisch für diese Betriebe bezeichnet werden. Der Warmwasser-Anteil ist deutlich, jedoch nicht dominierend. Nach der morgendlichen Spitze um etwa 7<sup>00</sup> Uhr ist bis etwa 11<sup>00</sup> Uhr ein erhöhter Bedarf festzustellen, der durch den Küchenbetrieb zu erklären ist. Danach sind die Gäste zumeist außer Haus. Um etwa 16<sup>00</sup> bis 17<sup>00</sup> Uhr kann dann mit dem Heimkehren der Gäste wiederum ein durch Aktivitäten im Restaurantbetrieb bedingter Verbrauchsanstieg verzeichnet werden.

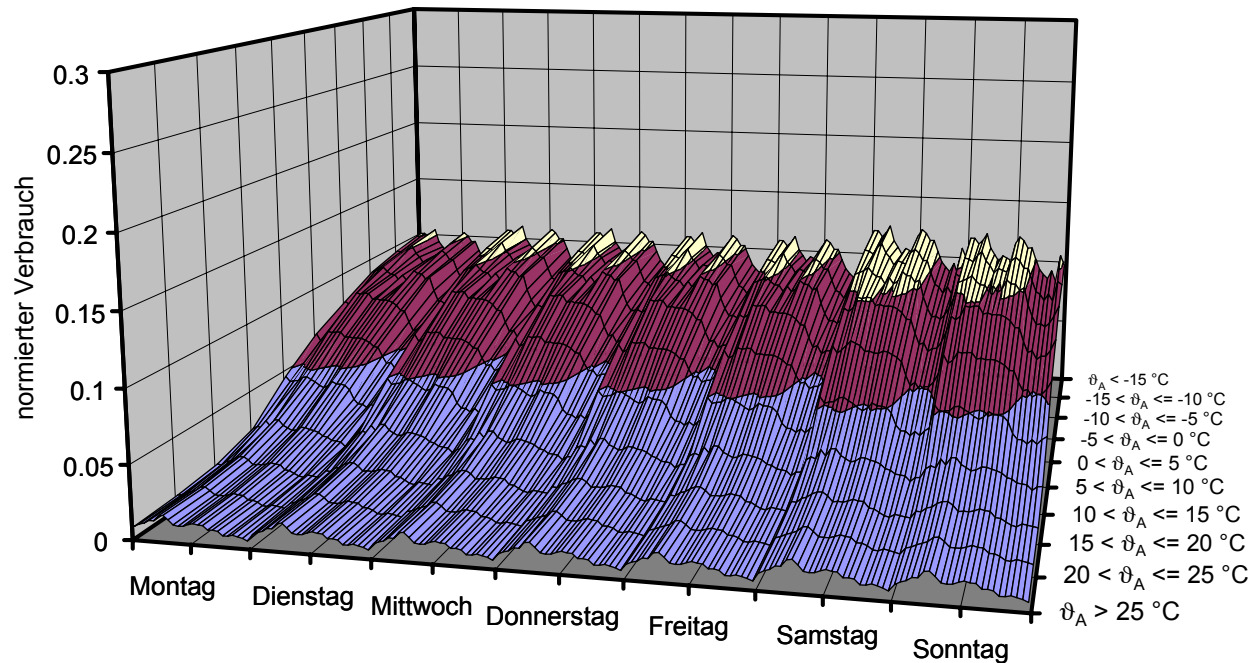


**Bild 7-26:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Beherbergung

#### i) Gaststätten

Bei den Gaststätten sind im Gegensatz zu den bisher diskutierten Verbraucherkategorien, wie **Bild 7-27** zeigt, am Wochenende höhere Verbrauchswerte als unter der Woche festzustellen, was auf Gäste- und Freizeitverhalten plausibel zurückzuführen ist. Ein etwas geringerer Bedarf in den Morgenstunden besteht am Montag, der auf etwas reduzierten Betrieb hier hindeutet.

Deutlich sind die dominierenden Einflüsse auf den Verbrauchsgang zu identifizieren. Neben der morgendlichen Spitze sind zu den üblichen Essenszeiten zwischen 12<sup>00</sup> und 14<sup>00</sup> sowie zwischen 17<sup>00</sup> und 22<sup>00</sup> Uhr erhöhte Verbrauchswerte festzustellen.



**Bild 7-27:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Gaststätten

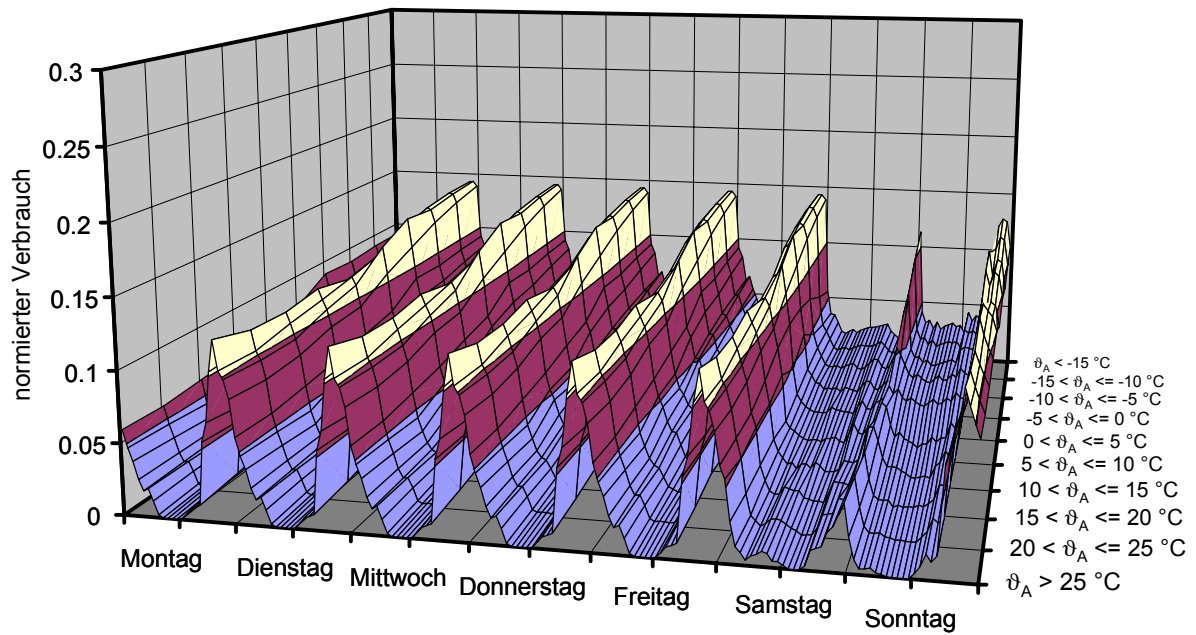
#### j) Bäckereien

Wie bereits dargelegt, unterscheiden sich die Bäckereien von den vorgenannten Verbraucherkategorien durch den hohen Prozessgasbedarf, der den Heizenergiebedarf überwiegt. Dementsprechend ergeben sich auch deutliche Unterschiede im Verbrauchsgang zwischen Backtagen und Tagen, an denen nicht gebacken wird. So weist der Samstag nur einen geringen Verbrauch auf, da für Sonntag wenig oder nicht produziert wird, wie **Bild 7-28** zeigt.

Der erhöhte Verbrauch in den Nachtstunden zum Aufheizen und Betreiben der Öfen findet ab etwa 1<sup>00</sup> Uhr in den Stunden vor 6<sup>00</sup> bis 7<sup>00</sup> Uhr morgens statt und geht dann in die morgendliche Spitze der Heizungsanlage über. Dieses Verhalten setzt sich über den gesamten Temperaturbereich fort, wobei mit steigenden Außentemperaturen ein leichtes Absinken auf Grund des geringeren Heizenergiebedarfs zu verzeichnen ist.

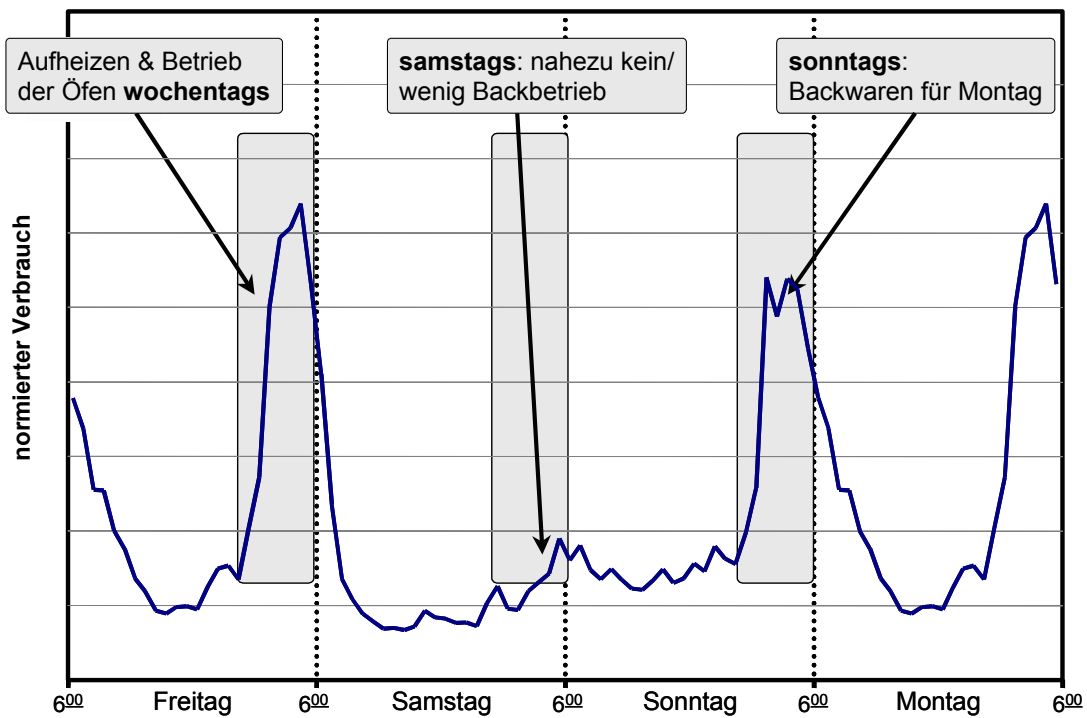
Der Verlauf des Bezugs ist hier also nicht bestimmt durch die Geschäftszeiten, sondern liegt vor diesem Zeitbereich, da die Backwaren mit Öffnen des Verkaufs bereits fertig sein müssen, gegebenenfalls sogar noch die Zeit für die Auslieferung an Filialen hinzu kommt.

Das Verhalten des Verbrauchsverlaufs am Wochenende für den Temperaturbereich zwischen 0 und  $-5\text{ °C}$  ist in **Bild 7-29** detaillierter dargestellt. Der Freitag ist typisch für die übrigen Werk-tage, da der Samstag für Bäcker als vollwertiger Verkaufstag zu sehen ist. Der Verbrauchsschwerpunkt liegt in den Nachtstunden für den Betrieb der Öfen.



**Bild 7-28:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Bäckereien

Am Samstag unterbleibt dieser Bezug fast vollständig. Eine Produktion für den Sonntag ist nicht zu verzeichnen. Durch die Gastagsbilanzierung wird der Backbetrieb des (kalendari-schen) Montags dem Sonntag zugeschlagen.

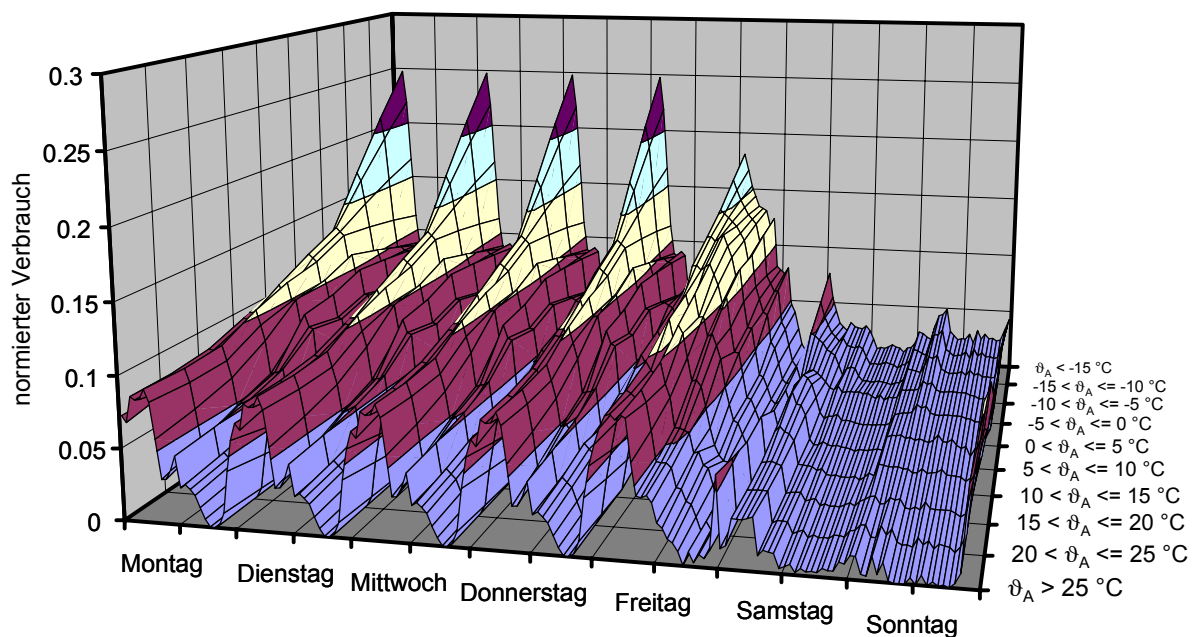


**Bild 7-29:** Normierte Stundenverbrauchswerte/ Freitag bis Montag Bäckereien – kalter Temperaturbereich

Zusätzlich ist zu beobachten, dass auch der „Grundbedarf“ außerhalb des nächtlichen/ morgendlichen Bereichs an Samstagen niedriger liegt als an den übrigen Tagen. Da dies nur im kalten Temperaturbereich zu beobachten ist, ist der Effekt vermutlich im reduzierten Heizbedarf begründet.

### k) Wäschereien

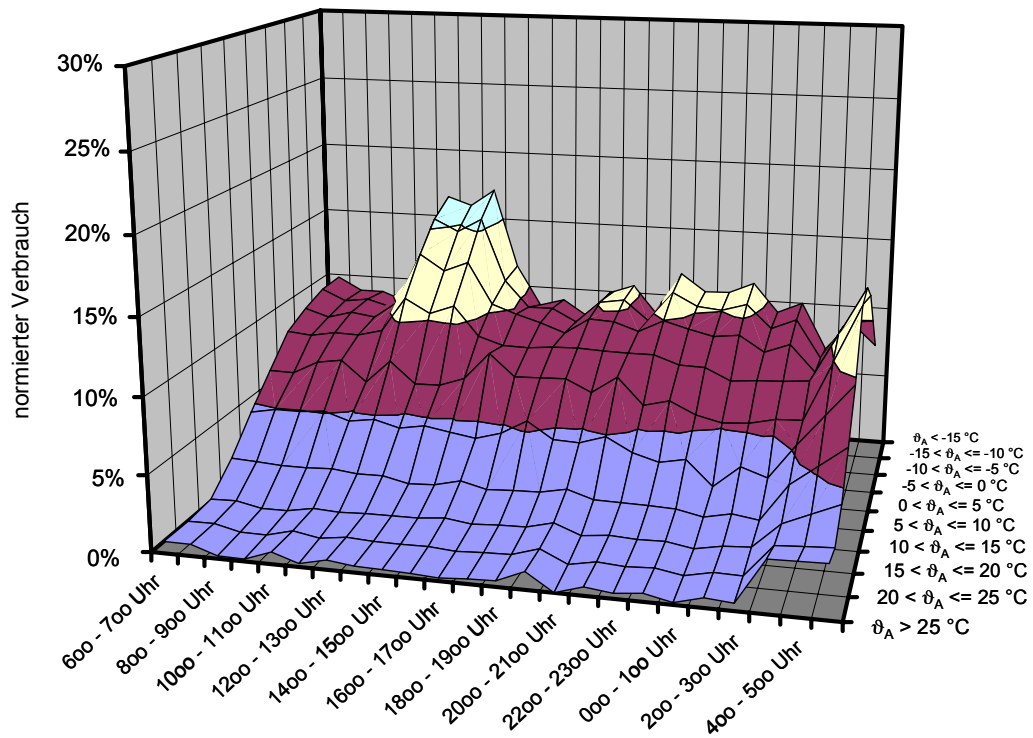
Die Wäschereien weisen wie die Bäckereien nach **Bild 7-30** deutliche Prozessgasanteile auf, jedoch etwas weniger dominierend als bei den Bäckereien. So ist die selbe Gleichmäßigkeit zwischen den Werktagen festzustellen und ein sogar noch deutlicherer Einbruch am Wochenende. Allerdings ist der Einfluss des Heizenergiebedarfs deutlich im Ansteigen des Verbrauchs mit sinkenden Außentemperaturen festzustellen. Da einerseits viele Betriebe sowohl samstags wie auch sonntags geschlossen haben und es andererseits auf Grund der Bedarfszeiten ab 6<sup>00</sup> Uhr nicht wie bei den Bäckereien zu einer Verschiebung des Montagsverbrauchs zum Sonntag kommt, erscheint der gesamte Bereich des Wochenendes stark reduziert. Der Freitag weist eine etwas breitere und flachere Morgenspitze auf. Die Ursache hierfür konnte nicht eindeutig geklärt werden, könnte aber im Einfluss, den gewerbliche Kunden auf den Verbrauchsgang der Wäschereien haben, zu suchen sein.



**Bild 7-30:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Wäschereien

### l) Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime

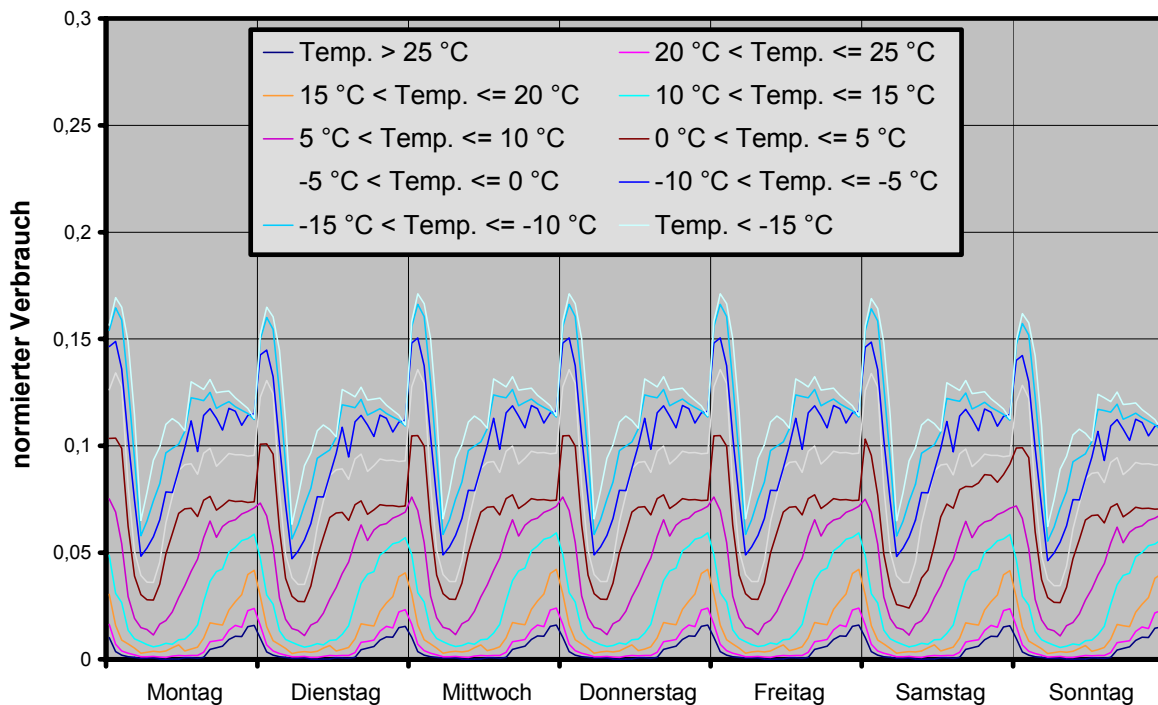
Die Profile des Bereichs Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime zeigen werktags unauffälliges Verhalten mit Morgenspitze, etwas Warmwasserbedarf im Sommer und reduziertem Verbrauch am Wochenende. Auffällig hingegen ist am Sonntag, der insgesamt eher geringen Verbrauch aufweist, der deutlich erhöhte Bezug mittags (vgl. **Bild 7-31**). Hierzu tragen vor allem die Heime bei, wo ein großer Bedarf an Kochgas und auch Warmwasser um diese Uhrzeit zeitgleich gedeckt werden muss.



**Bild 7-31:** Verlauf der stündlichen Anteile am Tagesverbrauch/ Sonntag – Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime

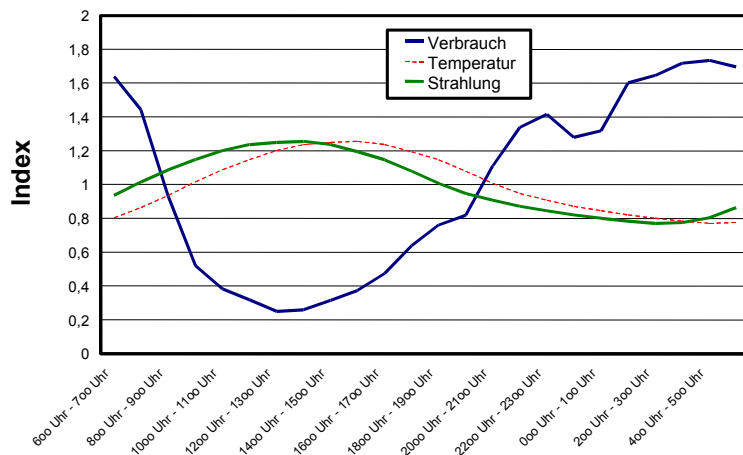
m) Gartenbau

**Bild 7-32** zeigt den Verlauf des Bezugs in der Kategorie Gartenbau für alle Wochentage.



**Bild 7-32:** Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Gartenbau

Wie sich klar erkennen lässt, ist in dieser Kategorie noch stärker als bei anderen Verbrauchern der Bezug von den momentanen Außenbedingungen bedingt. Grund hierfür ist, dass der Großteil des Bedarfs zur Aufrechterhaltung weitgehend konstanter Temperaturbedingungen in den Gewächshäusern benötigt wird, wobei Änderungen sich direkt auf den Ertrag auswirken können und in kritischen Fällen große finanzielle Verluste mit sich bringen. Dadurch stellen sich besondere Anforderungen an die Auslegung bezüglich der Ausfallsicherheit der Anlagen / 50 /.



**Bild 7-33:** Beispiel im Gartenbau - Verlauf von Verbrauch, Temperatur und Strahlung – indizierte Darstellung

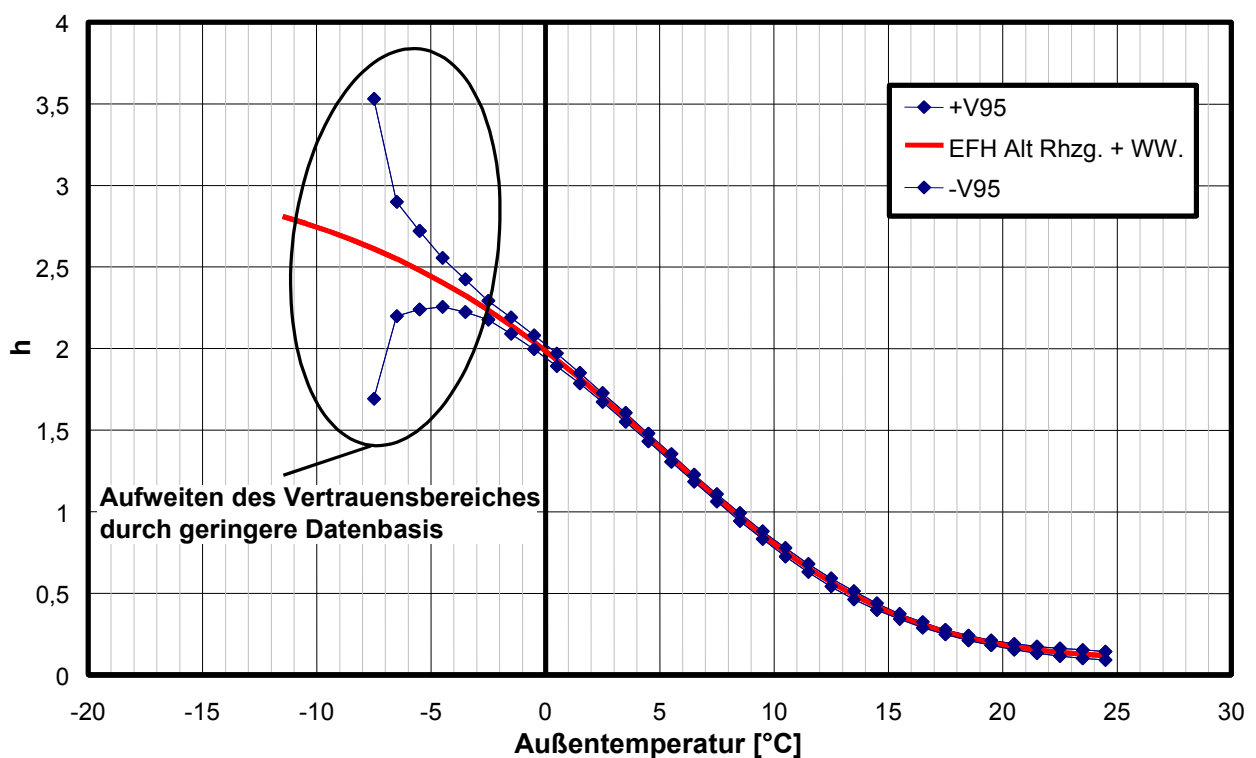
Auf Grund der großen transparenten Flächen der Gewächshäuser ergibt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Strahlung, wie **Bild 7-33** für das Beispiel kalter Außentemperaturen eines Betriebes zeigt: Besser noch als mit der Außentemperatur lässt sich der Verbrauchsverlauf mit der Einwirkung der Strahlung korrelieren, die typischerweise der Außentemperatur um etwa ein bis zwei Stunden vorausfällt.

In den Abend- und Nachtstunden steigt der Verbrauch rapide an. Da der Verbrauch im *Gartenbau* gleichzeitig einen der größten Kosteneinflüsse darstellt, wird trotzdem versucht, soweit dies ohne Schädigung der angepflanzten Kulturen möglich ist, nachts die Temperatur etwas abzusenken und somit die Heizkosten zu reduzieren. Unter Umständen kann dies jedoch zu etwas verlangsamtem Wachstum führen. Der Verlauf zeigt deshalb eine ausgeprägte Spitze am Morgen, die durch das Anheizen des Systems entsteht. Zudem ist, bedingt durch die eingesetzten Heizanlagen und prozessbedingte Rahmenbedingungen wie die Entkopplung von Wärmebedarf und Anlagenführung durch Speichereinsatz (zum Beispiel zum Zwecke der CO<sub>2</sub>-Düngung / 48 /) die Reaktionsgeschwindigkeit der Systeme niedrig, was die Ausbildung der Morgenspitze unterstützt.

### 7.3. Statistische Sicherheit

Eine Bewertung der Ergebnisse bezüglich ihrer Belastbarkeit erfolgt über die in Kapitel 2.3 definierten und erläuterten statistischen Kenngrößen. Dabei dienen die Ergebnisse einerseits der Bestätigung und Optimierung der Vorgehensweise und andererseits der Quantifizierung der gefundenen Abbildungsgüte.

Um die Zuverlässigkeit der Abbildung in allen Temperaturbereichen quantifizieren zu können, wurde in 1 °C-Temperaturschritten die Datenbasis der Abbildung gegenübergestellt und der Vertrauensbereich ermittelt. Auf Grund der breiten verarbeiteten Datenbasis kann davon ausgegangen werden, dass die Werte der Stichprobe eine gute Näherung der Verhältnisse in der Allgemeinheit darstellen und der Vertrauensbereich somit Rückschlüsse auf die Belastbarkeit der Lastprofile insgesamt erlaubt.



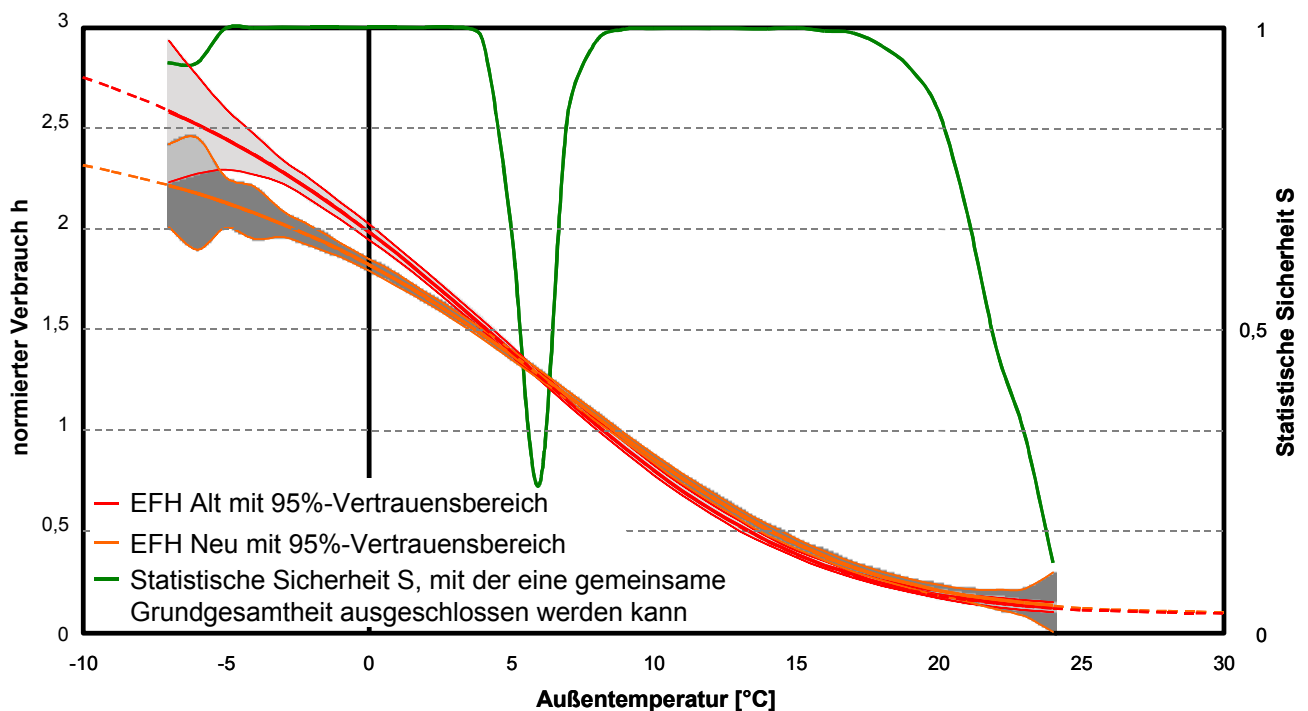
**Bild 7-34:** 95%-Vertrauensbereich der Tagesverbrauchswerte – EFH Alt

Durch die starke Abhängigkeit des Vertrauensbereiches von der Anzahl der eingebundenen Messwerte führt dieses Vorgehen zwangsläufig zu einem Aufweiten des Vertrauensbereiches bei kalten Temperaturen, die nur relativ selten auftreten.

In **Bild 7-34** ist der 95%-Vertrauensbereich für die Tagesverbrauchswerte des Verbrauchertyps Einfamilienhaus Alt dargestellt; die kalten Temperaturbereiche wurden markiert. Oberhalb dieses Temperaturbereiches zeigt der Verlauf wenig Schwankungen. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die Aufweitung des Vertrauensbereiches der Lastprofilkurven im kalten Außentemperaturbereich ausschließlich auf die Reduktion der Datenbasis zurückzuführen ist

und sich methodikimmanent eine ähnlich sichere Abbildung wie bei warmen Temperaturen voraussetzen lässt.

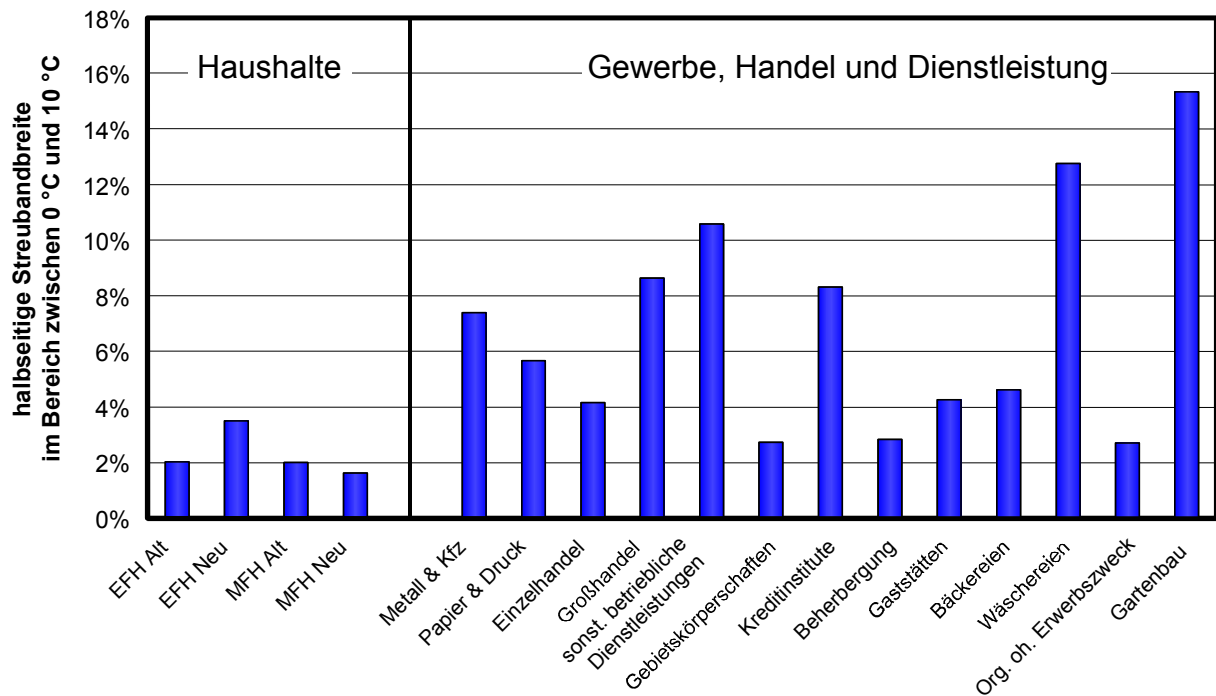
Bei der Gegenüberstellung der statistischen Prüfgrößen unterschiedlicher Verbrauchertypen kann mittels Student'schem Test die getroffene Klassierung bestätigt werden. **Bild 7-35** stellt die Funktionen der Verbrauchertypen Einfamilienhaus Alt und Einfamilienhaus Neu mit dem Band ihrer fünfundneunzigprozentigen Vertrauensbereiche gegenüber. Mittels Student'schem Test wurde die Hypothese geprüft, ob die Werte der beiden Verbraucheraggregationen derselben Grundgesamtheit entstammen. Dabei wurde analog zur oben vorgestellten Methodik in 1 °C-Temperaturschritten vorgegangen. Die statistische Sicherheit, mit der die Hypothese ausgeschlossen werden kann, liegt in den Temperaturbereichen, die durch viele Wertepaare abgedeckt sind, nahe 100 % und belegt die Unterschiedlichkeit der Grundgesamtheiten, denen die Stichproben „EFH Alt“ und „EFH Neu“ entstammen. Wenn die statistische Sicherheit in den Randbereichen des Erfahrungsbereiches deutlich abnimmt, so liegt das an der dort geringen Anzahl von Wertepaaren, die auch zur Aufweitung des Vertrauensbereiches führen. Im Schnittstellenbereich beider Funktionen nimmt die statistische Sicherheit zudem zwangsläufig ab, da hier die zu Grunde liegenden Werte beider Stichproben übereinander fallen.



**Bild 7-35:** Statistischer Vergleich der Verbrauchertypen EFH Alt und EFH Neu

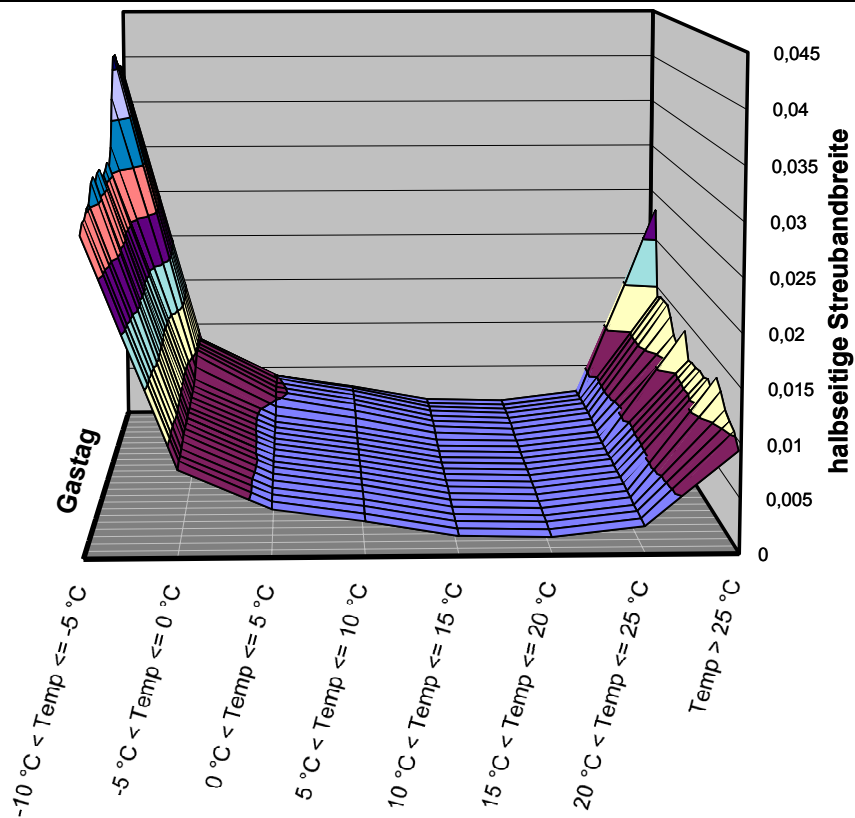


Analoge Resultate aller Verbrauchertypen lassen Quervergleiche bezüglich der Zuverlässigkeit zu. **Bild 7-36** zeigt den Mittelwert der halbseitigen Streubandbreiten aller untersuchten Verbrauchertypen für den Temperaturbereich zwischen 0 °C und 10 °C Außentemperatur, also in Temperaturbereichen, in denen eine ausreichende Datenbasis zu Grunde lag. Deutlich zeigt sich der Vorteil der Möglichkeit kollektiver Datenerfassung bei den Haushaltskunden, die statistische Sicherheit ist hier besser als bei Verbrauchern aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung. Auch das etwas homogenere Gruppenverhalten bei Haushaltskunden wirkt in diese Richtung.



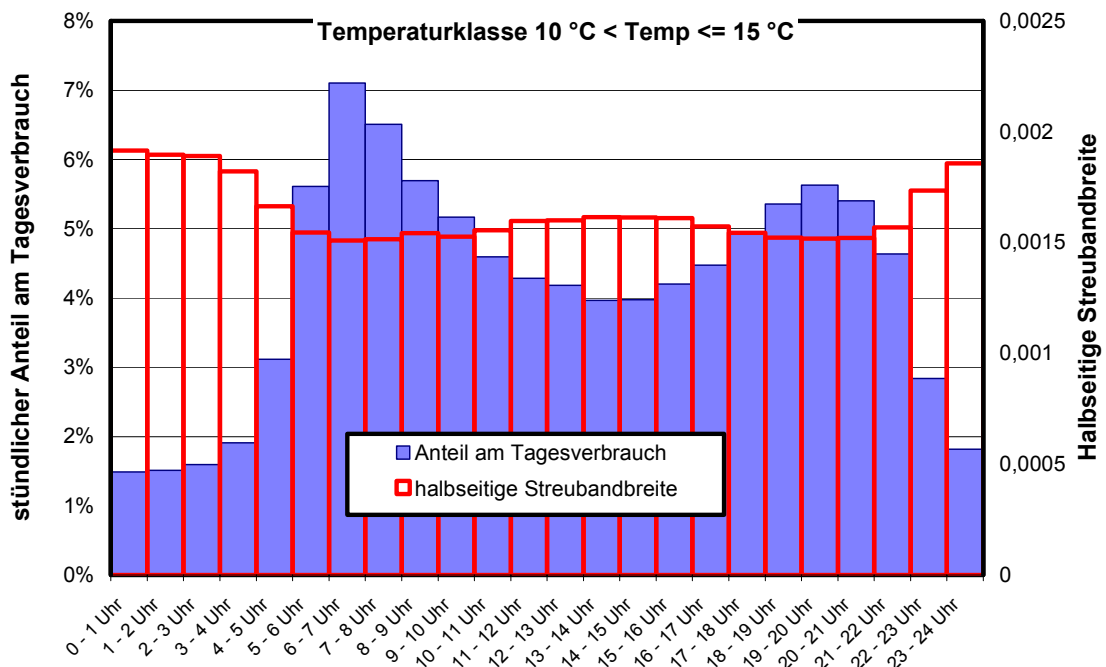
**Bild 7-36:** Halbseitige Streubandbreite des 95%-Vertrauensbereichs im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 10 °C Außentemperatur

Innerhalb der Gruppe der Kunden aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung ergeben sich Spannbreiten von etwa dem Niveau der Haushalte (Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen, Organisationen ohne Erwerbszweck & Heime und Einzelhandel) bis zu etwa 15% im schlechtesten Fall, dem Gartenbau. Besonders in dieser Kategorie herrscht eine sehr starke Heterogenität auf Grund der Bewirtschaftung unterschiedlicher Kulturen und ähnlicher Einflüsse. In analoger Weise lassen sich die statistischen Kenngrößen für Stundenwerte ermitteln. In Bild 7-37 ist beispielhaft der Verlauf der halbseitigen Streubandbreite für einzelne Stunden des Verbrauchertyps Einfamilienhaus Alt in Abhängigkeit des Parameters Außentemperatur dargestellt.



**Bild 7-37:** Halbseitige Streubandbreite– EFH Alt, Stunden

Wie nicht anders zu erwarten war, unterliegen alle Stunden dem bereits oben diskutierten Einfluss. Für kalte und sehr warme Temperaturbereiche sinkt die statistische Aussagekraft der Kurven auf Grund der Abnahme der Messpunktanzahl



**Bild 7-38:** Verbrauchsanteil und halbseitige Streubandbreite des 95%-Vertrauensbereichs im Temperaturbereich zwischen 10 °C und 15 °C Außentemperatur – EFH Alt

Für den „gesicherten“ Temperaturbereich, in **Bild 7-38** für die Temperaturklasse zwischen 10 und 15 °C aufgezeigt, ergibt sich folgendes Bild. Während die Hochlastzeiten relativ gut abgebildet werden, sinkt in den nächtlichen Stunden der Temperaturreduzierung die Sicherheit etwas ab, der Vertrauensbereich weitet sich auf. Wegen der größeren Möglichkeit der Einflussnahme durch den Nutzer und die Regelung sind die Verhaltensmuster nicht so einheitlich wie untertags, wo der Verlauf stärker strukturell durch die nutzerseitigen Bedürfnisse vorgegeben ist. Die Vorstellung aller gefundenen statistischen Untersuchungsergebnisse sprengt an dieser Stelle den sinnvollen Rahmen. Die Ergebnisse finden sich detailliert im Anhang. Sie dienen unter anderem in / 20 / zur Ermittlung der empfehlenswerten Grenze zur Leistungsmessung.

## 8. Anwendung und Synthese

### 8.1. Vorgehensweise

Die Lastprofile liegen beim Anwender in Form der verbrauchertypspezifischen Koeffizienten der Regressionsfunktion und Stundenkennfelder vor. Darüber hinaus muss der Händler für seinen abzubildenden Kunden einen Verbrauchswert (Basiswert) mit dazugehöriger Angabe des Basiszeitraums, in dem dieser Verbrauch entstanden ist, einbringen. Dies können der Ablesewert des zurückliegenden Abrechnungszeitraums und die Datumsgrenzen des Abrechnungszeitraums sein. Außerdem müssen zur Abbildung des Kunden sowohl Temperaturmesswerte des Basiszeitraums als auch für die zukünftig abzubildenden Zeiträume (Prognose- oder Istwerte) vorgehalten werden.

Bei der Anwendung der Lastprofile auf eine Verbrauchergruppe an einem bestimmten Verbrauchsort ist die Berücksichtigung des im Basiszeitraum zu Grunde liegenden Temperaturverlaufs unabdingbar, analog der Vorgehensweise beim Standardisieren der Verbrauchswerte bei der Entwicklung der Lastprofile. In den zugehörigen Basiswerten ist die Qualität des Außentemperaturverlaufs im Basiszeitraum enthalten („warmes oder kaltes Jahr“). Die sich durch Einsetzen der Temperaturwerte in die gültigen (wochentagsabhängigen) Abbildungsfunktionen ergebenden Durchschnittswerte des normierten Verbrauchs bilden ein Maß dieser Qualität, da die Funktionen das Verhalten der Verbrauchergruppe signifikant widerspiegeln. Sie bilden damit den Schlüssel zur Entnormierung und Anwendung der Kurven. **Bild 8-1** zeigt die Vorgehensweise. Im dargestellten Beispiel liegt der Basiswert (Ablesewert) für einen Basiszeitraum von  $N > 365$  Tagen (zum Beispiel 04.01.1999 bis 12.01.2000 ; 373 Tage) vor. Unterstellt wurde hier, dass dieser Zeitraum etwas kälter war als der Referenztemperaturstandort ( $\vartheta_{Ref.}$ ). Somit ergibt sich für den durchschnittlichen normierten Verbrauchswert  $\bar{h}$  ein Wert  $> 1$ ; für den Fall, der Basiswert wäre am Referenzstandort (langjähriges Mittel Würzburg) verursacht worden, wäre  $\bar{h}$  auf Grund der Definition der Lastprofile 1.

		01.01.99	02.01.99	03.01.99	04.01.99	05.01.99	06.01.99	...	04.01.00	12.01.00	...	Σ / N
Standort	Tag i				1	...	365		N	...		1
2	ϑ <sub>A,2,i</sub>	2	1	2	3	4	3	...	0	...	1	z.B. < ϑ <sub>Ref.</sub>
h <sub>Mo</sub>					1,4	1,1	0,9	...	1,2	...	1,2	} z.B. 1,20
h <sub>Di</sub>					1,3	1,2	1,1	1,2	...	1,4	1,0	
...								...				
h <sub>So</sub>					1,4	...	1,5	...	1,0			

**Bild 8-1:** Vorgehensweise zur Ermittlung des Entnormierungsfaktors  $\bar{h}$

In einem ersten Schritt kann der Verbrauchswert auf exakt ein Jahr umgerechnet werden. Mit Hilfe des Temperaturverlaufs im Verbrauchszeitraum lassen sich die normierten Verbrauchswerte für N beziehungsweise 365 Tage (04.01.1999 bis 04.01.2000) errechnen. Da die Kurven bereits im normierten Zustand das substantielle Verbrauchsverhalten beinhalten, ist das Verhältnis der normierten Verbräuche gleich dem Verhältnis der absoluten Verbrauchswerte:

$$\frac{\sum_{i=1}^{365} h_i}{\sum_{i=1}^N h_i} = \frac{\sum_{i=1}^{365} W_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad \text{oder auch:} \quad \frac{\sum_{i=1}^{365} h_i}{\sum_{i=1}^N h_i} \cdot \frac{N}{365} = \frac{\bar{h}_{365\text{Tage}}}{\bar{h}_{N\text{Tage}}} = \frac{\bar{W}_{365\text{Tage}}}{\bar{W}_{N\text{Tage}}} = \frac{\sum_{i=1}^{365} W_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \cdot \frac{N}{365}$$

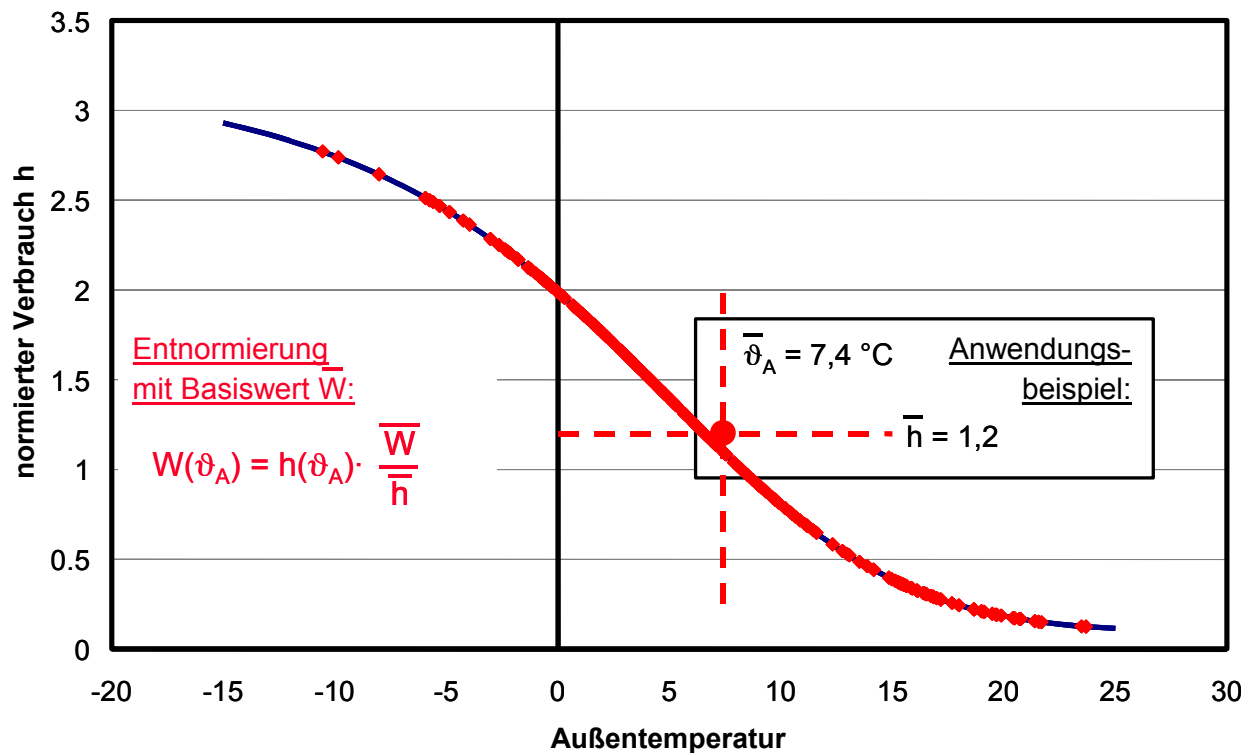
So lässt sich der bereinigte mittlere Tagesverbrauch angeben zu  $\bar{W}_{365\text{Tage}} = \frac{\bar{h}_{365\text{Tage}}}{\bar{h}_{N\text{Tage}}} \cdot \bar{W}_{N\text{Tage}}$ .

Zur Entnormierung (**Bild 8-2**) wird ebenfalls der Entnormierungsfaktor durch Einsetzen der Temperaturwerte ermittelt. Im dargestellten Beispiel ergibt sich ein Wert von 1,2. Dies ist äquivalent mit der Aussage, dass der angegebene Basisverbrauchswert in einem unterdurchschnittlich kalten Jahr erfasst wurde, eine Entnormierung der Kurve ohne Berücksichtigung des Entnormierungsfaktors folglich zu hoch läge.

Die Entnormierung über  $W(\vartheta_A) = h(\vartheta_A) \cdot \frac{\bar{W}}{h}$  hingegen liefert den für Anwender am Anwendungsort gültigen Zusammenhang zwischen Verbrauch und Außentemperatur. Ist wie im Fall von Gewerbe, Handel und Dienstleistung eine Wochentagsabhängigkeit zu berücksichtigen, gilt für die Entnormierung

$$W(\vartheta_A)_{\text{Wochentag}} = F_{\text{Wochentag}} \cdot h(\vartheta_A) \cdot \frac{\bar{W}}{h},$$

mit:  $W(\vartheta_A)_{\text{Wochentag}}$  : Verbrauch der Wochentage  
 $F_{\text{WoTchentag}}$  : Wochentagsfaktor



**Bild 8-2:** Entnormierung der Lastprofilkurve

Dann bildet sich  $\bar{h}$  zu: 
$$\bar{h} = \frac{\sum h_{Mo} + \sum h_{Di} + \sum h_{Mi} + \sum h_{Do} + \sum h_{Fr} + \sum h_{Sa} + \sum h_{So}}{N}$$

mit:  $\sum h_{Mo} \dots \sum h_{So}$  : unter Berücksichtigung der Wochentagsabhängigkeit ermittelte normierte Verbrauchswerte

Index Wochentag: für die einzelnen Wochentage Montag ... Sonntag

N: Anzahl der Tage im Basiszeitraum

In den meisten Fällen wird der Jahresverbrauch eines Kunden auf Grund individueller Einflüsse mehr schwanken als durch die verschiedenen Temperaturverläufe begründbar ist (Besuch im Haus, größeres Wärmebedürfnis der Bewohner). Führt dies nicht zu einer grundsätzlich andersartigen Verbrauchsweise (Erweiterungsbau o. Ä.), bleibt das Profil gültig, allerdings muss eine Nachverrechnung mit dem Jahresverbrauch des Abrechnungsjahres erfolgen. Wegen der gewählten Vorgehensweise bedeutet das jedoch lediglich eine lineare Skalierung der Werte.

## 8.2. Lastsynthese und Plausibilisierung

Neben der Angabe der angebbaren statistischen Sicherheit der entwickelten Lastprofile auf Basis der eingebundenen Daten ist für jeden Anwender von zentralem Interesse, inwieweit die Lastprofile in der Praxis mit den tatsächlich auftretenden Verbrauchswerten zusammenfallen.

Der Weg zur Plausibilisierung führt damit zwangsläufig über die Lastsynthese für einzelne Verbraucher, Verbraucherkollektive und hoch aggregierte Verbraucheransammlungen.

Für die Abbildungsgenauigkeit bedeutet dieser Weg entlang steigender Kollektivstärke zwei gegenläufige Trends. Einerseits verbessert sich die Abbildung auf Grund der besseren Repräsentativität der Lastprofile; die zu Grunde gelegten bundesdeutschen Werte stimmen exakter mit der abgebildeten Verbraucheraggregation überein. Andererseits sinkt mit wachsendem Abstand zum Verbraucher die Verfügbarkeit von Detailinformationen, die der Zuordnung zu Lastprofilen zuträglich sein können. Dementsprechend müssen bei einer deutschlandweiten Betrachtung meist vereinfachende Annahmen getroffen werden.

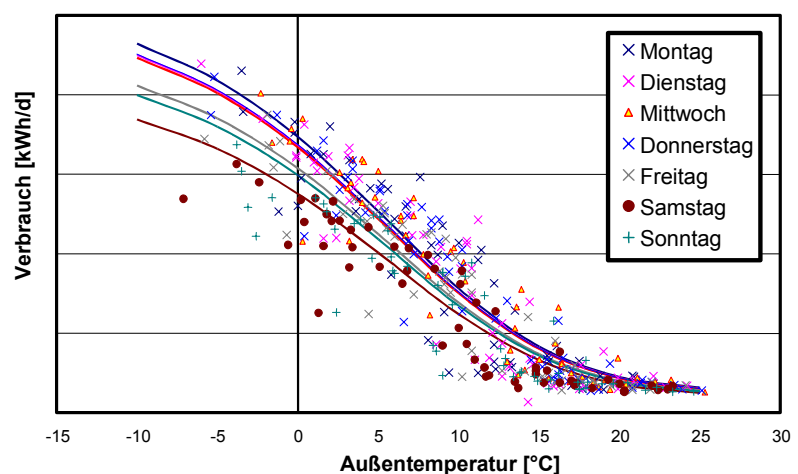
### 8.2.1 Verbrauchsmessungen

Über den gesamten Zeitbereich der Profilentwicklung war eine Rückkopplung der in der Praxis anwendenden Unternehmen gegeben, was eine fortlaufende Überprüfung und gegebenenfalls Adaptierung ermöglichte. Aus dieser Quelle stammen auch die unten stehend aufgeführten Beispiele für Einzel- und Kollektivverbraucher. Die Plausibilisierung fand somit teilweise bereits während der Erstellung der Lastprofile statt.

#### a) Einzelverbraucher

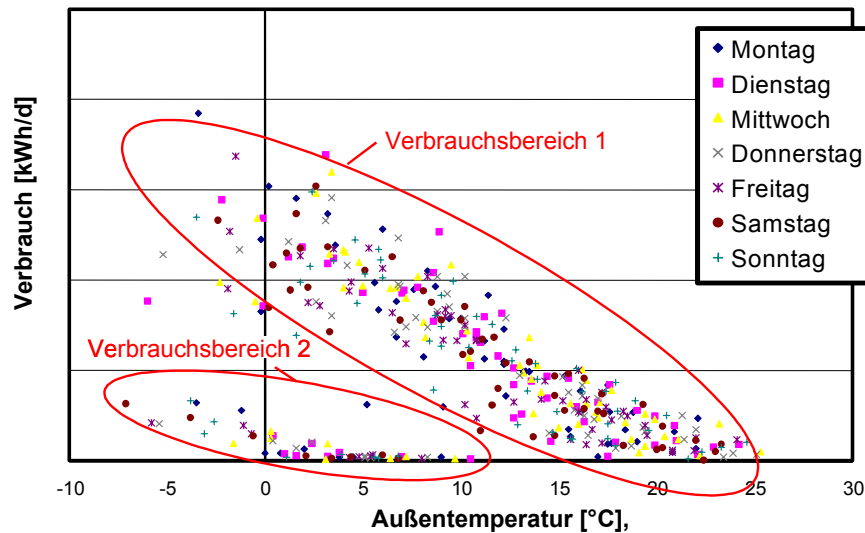
Die Abbildung von einzelnen Verbrauchern ist aus prinzipiellen Überlegungen nicht unproblematisch. Sie unterliegen nicht statistischen Vergleichsmäßigungen; der stochastische

Verbrauchsanteil kann die durch statistische Untersuchungen belegbaren strukturellen Einflüsse deutlich überwiegen. Dennoch wurden immer wieder Untersuchungen einzelner Objekte miteinbezogen, da hier der größte Datenbestand vorlag. In der überwiegenden Anzahl der Fälle konnten dabei brauchbare Abbildungsergebnisse erzielt



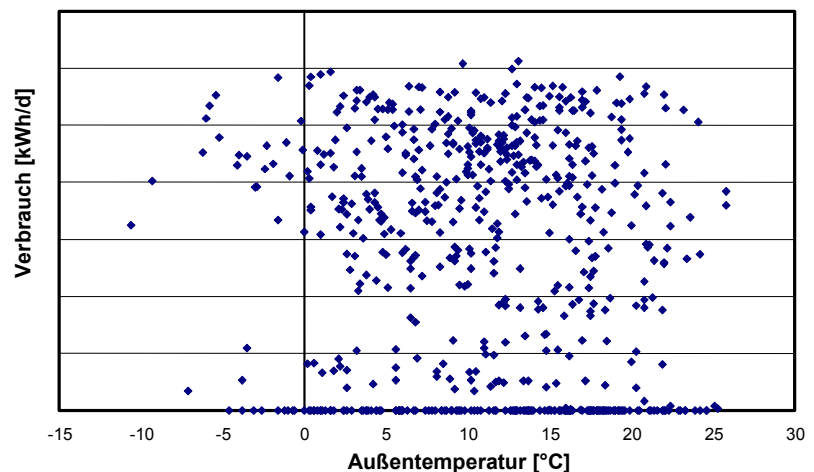
**Bild 8-3:** Anwendungsbeispiel – Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen

werden. **Bild 8-3** zeigt beispielsweise den Verbrauch eines Kunden der Kategorie Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen. Farblich übereinstimmend sind die Messwerte und Lastprofile für die einzelnen Wochentage dargestellt. Wie sich zeigt, gibt die Abbildung der Lastprofile die Höhe des Verbrauchs sowie die Wochentagsabhängigkeit des Verbrauchers gut wieder. Die Betrachtung auf der Ebene einzelner Verbraucher bringt jedoch mit sich, dass sich auch negative Beispiele finden ließen. **Bild 8-4** zeigt einen Betrieb der Kategorie Gartenbau.



**Bild 8-4:** Anwendungsbeispiel – Gartenbau

sein Bezugsverhalten wegen des Anbaus grundsätzlich unterschiedlicher Kulturen während eines Teils des Jahres umstellte, was den **Verbrauchsbereich 2** verursachte. Noch ungünstiger aus Sicht des Lastprofilverfahrens stellte sich der in **Bild 8-5** dargestellte Großhandelsbetrieb dar. Ein außentemperaturabhängiges Verbrauchsverhalten ist nicht festzustellen, die Verbrauchswerte streuen über den gesamten Temperatur- und Verbrauchsbereich. Somit muss eindeutig festgestellt werden, dass Einzelverbraucher existieren, die sich trotz Zugehörigkeit zu bestimmten Verbrauchergruppen nicht in ihrem Bezugsgang durch statistische Verfahren abbilden lassen. Sie stellen jedoch eine geringe Minderheit dar.



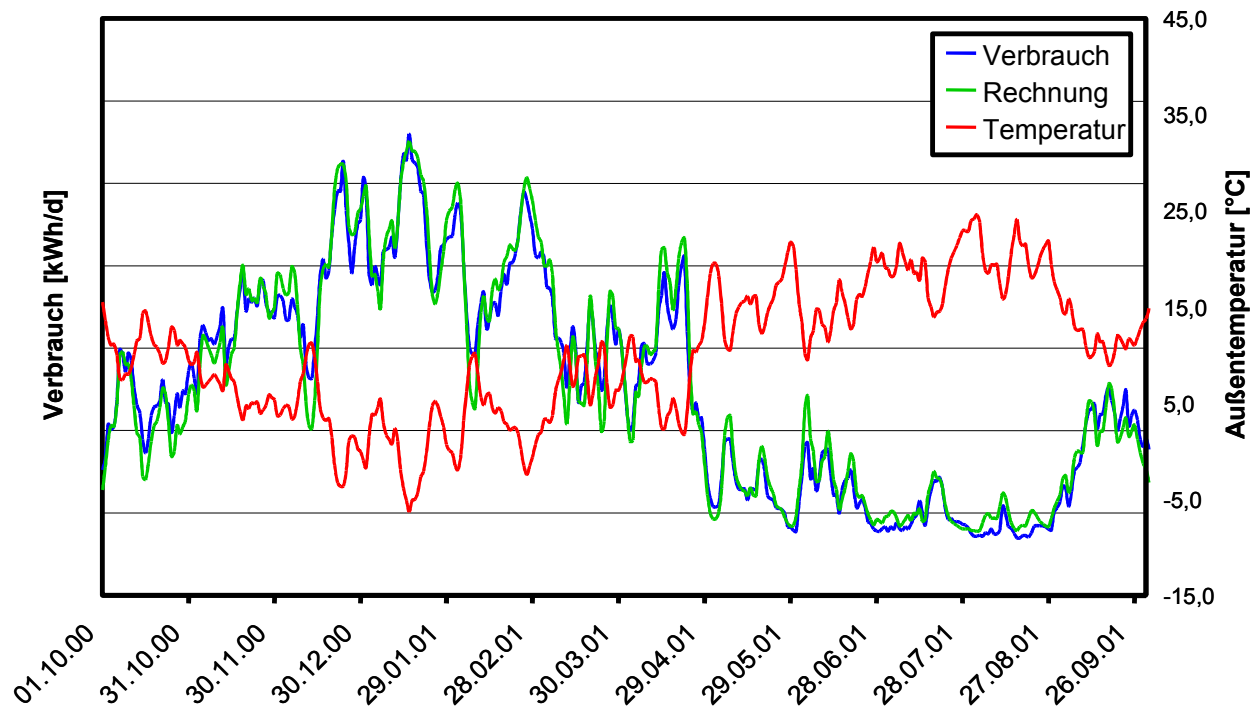
**Bild 8-5:** Anwendungsbeispiel – Großhandel

Die Ergebnisse für Einzelkunden konnten somit grundsätzlich die Ergebnisse bestätigen, zeigten jedoch auch deutlich die Grenzen einer Plausibilisierung des Lastprofilverfahrens auf, insofern es um die exakte Abbildung einzelner Verbraucher geht.

Eindeutig lassen sich zwei getrennte Bereiche identifizieren, die durch sehr verschiedenes Verbrauchsverhalten geprägt sind: **Verbrauchsbereich 1** liegt höher und erstreckt sich über einen breiteren Temperaturbereich. In dem hier vorliegenden Fall konnte geklärt werden, dass der Betrieb

## b) Verbraucherkollektive

Die Untersuchungen an Haushalts-Verbraucherkollektiven, die den entwickelten Lastprofilen zu Grunde liegen, konnten während der Erstellung erweitert werden, indem zusätzliche Zeitbereiche und auch neue Kollektivmessungen einbezogen wurden. **Bild 8-6** zeigt ein Beispiel für die insgesamt sehr gute Abbildung von Haushaltskollektiven.



**Bild 8-6:** Verbrauch und Lastprofil – Mehrfamilienhaus Alt

Die Rechenwerte folgen den Ist-Verbrauchswerten über den gesamten Zeitbereich bei allen Temperaturen zufriedenstellend. Die Abbildung gibt einen realistischen Einsatzfall wieder, da die Erstellung der Rechenwerte, wie für die Anwendung vorgeschlagen, mit Hilfe der Temperaturwerte des nächstgelegenen DWD-Messstandortes erfolgte.

## 8.2.2 Statistische Quellen

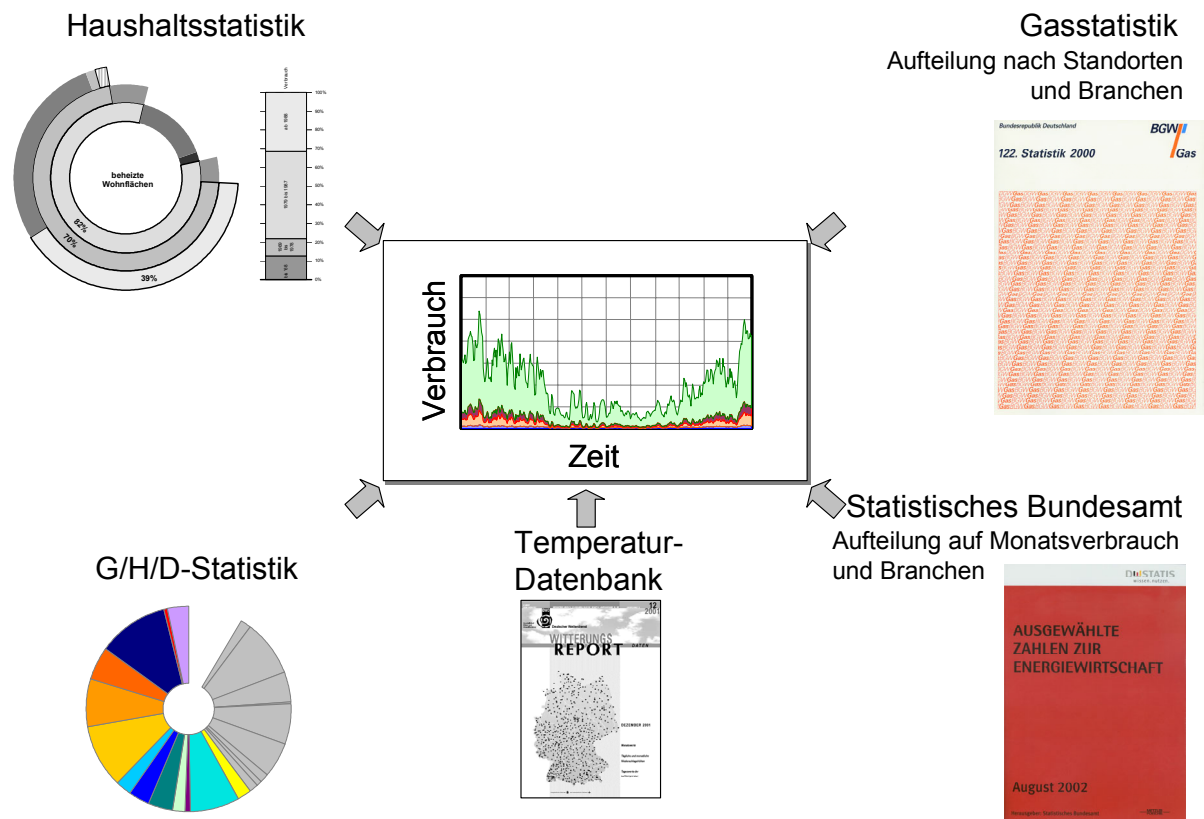
## a) Grundlagen

**Bild 8-7** zeigt die wesentlichen Quellen, die für Plausibilisierungs-Syntheserechnungen als Basis zur Verfügung stehen. Dabei werden sowohl externe Quellen, die allgemein zugänglich sind, als auch interne Kenntnisse des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik genutzt, die nicht oder nur teilweise veröffentlicht sind.

- An internen Daten wurden die sehr detaillierten Kenntnisse zu den energiewirtschaftlichen Bereichen Haushalte (basierend auf / 16 /, / 44 /) und Gewerbe, Handel und Dienstleistung (vor allem auf Basis der Werte aus / 3 /) genutzt.
- Von Seiten des Deutschen Wetterdienstes wurden Temperaturwerte aller deutschen Messstandorte fortlaufend bezogen / 29 / und eingebunden.



- Der Bundesverband der deutschen Gaswirtschaft veröffentlicht jährlich die deutsche Gasstatistik / 42 / mit detaillierten gesamtgaswirtschaftlichen Zahlen sowie Angaben zur Gaserzeugung, -bereitstellung und -abgabe, aufgegliedert unter anderem nach versorgendem Unternehmen in Jahresaggregation.
- Das statistische Bundesamt veröffentlicht monatlich „Ausgewählte Zahlen zur Energiewirtschaft“, unter anderem mit einer detaillierten Aufteilung der Gaserzeugung, -bereitstellung und -abgabe, beruhend auf steuerlich relevanten Angaben der Gasversorgungsunternehmen und damit in guter Übereinstimmung mit der deutschen Gasstatistik / 43 /.



**Bild 8-7:** Lastsynthese mit Hilfe ausgewählter Statistiken

Der Quervergleich verschiedener, plausibel übereinstimmender Angaben wurde hier genutzt, um darauf aufbauend Lastgänge zu synthetisieren und unter bewusster Inkaufnahme der dabei auftretenden Unsicherheiten den statistisch veröffentlichten Werten zur Plausibilisierung des Verfahrens gegenüberzustellen.

Da in / 42 / die Jahres-Abgabewerte aller 711 Ortsgasversorgungsunternehmen nach den in **Tabelle 8-1** aufgelisteten Verbrauchergruppen aufgeschlüsselt angegeben sind, wurde die Betrachtung der nicht leistungsgemessenen Kunden auf jenen Anteil dieses Verbrauchersegments reduziert, der von Ortsgasunternehmen versorgt wird. Die Jahreswerte der deutschen Gasstatistik werden für die Lastprofilabbildung genutzt, die errechneten Werte monatlich aggregiert und mit den Werten des Statistischen Bundesamtes verglichen. Das Vorgehen entspricht somit der vorgeschlagenen Methodik zur Anwendung der Lastprofile.

Die in der deutschen Gasstatistik als „Produzierendes Gewerbe“ zusammengefassten Bilanzposten scheiden dabei für eine Abbildung aus. Für die großen industriellen Betriebe liegen keine Lastprofile vor, eine Isolierung der abbildbaren Kundengruppen ist nicht möglich. Auch die „Sonstigen Abnehmer“, „Gasversorgungsunternehmen“ sowie „Ausfuhr“ und „Eigen- und Betriebsverbrauch“ scheiden für eine Abbildung aus.

Es verbleiben die Bilanzposten „Private Haushalte“, „Handel“ und „Öffentliche Verwaltung, Verteidigung und Sozialversicherung“<sup>3</sup>, für die sich Äquivalente in der Bilanz des Statistischen Bundesamtes finden.

**Tabelle 8-1:** Ausgewählte Bilanzposten

<u>deutsche Gasstatistik</u> (Jahreswerte)		<u>Statistisches Bundesamt</u> (Monatswerte)							
Private Haushalte		<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; margin-right: 5px;">Produzierendes Gewerbe</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>Land- und Forstwirtschaft, Fischerei</td></tr> <tr><td>Elektrizitätsversorgung</td></tr> <tr><td>Fernwärmeversorgung</td></tr> <tr><td>Chemische Industrie</td></tr> <tr><td>Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden, Feinkeramik, Herstellung und Verarbeitung von Glas</td></tr> <tr><td>Metallerzeugung und -bearbeitung (ohne NE-Metalle)</td></tr> </table> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; margin-left: 5px;">Abgabe an Endabnehmer</div> </div>		Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Elektrizitätsversorgung	Fernwärmeversorgung	Chemische Industrie	Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden, Feinkeramik, Herstellung und Verarbeitung von Glas	Metallerzeugung und -bearbeitung (ohne NE-Metalle)
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei									
Elektrizitätsversorgung									
Fernwärmeversorgung									
Chemische Industrie									
Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden, Feinkeramik, Herstellung und Verarbeitung von Glas									
Metallerzeugung und -bearbeitung (ohne NE-Metalle)									
Handel, Land- und Forstwirtschaft *)									
Öff. Verw., Verteidigg., Sozialversichg.									
Produzierendes Gewerbe	Elektrizitätsvers. und Heizkraftwerke								
	Fernwärmeversorgung								
	Industrie	Chemie							
		Steine, Erden, Glas u. Keramik							
		Eisen							
		NE-Metalle							
		Zellstoff, Papier und Pappe							
		Ernährung, Tabak							
Sonstige Industrie									
Sonstige Abnehmer	Handel								
Gasversorgungsunternehmen	Private Haushalte								
Ausfuhr	Gebietskörperschaften								
Eigen- und Betriebsverbrauch	Sonstige Endabnehmer								

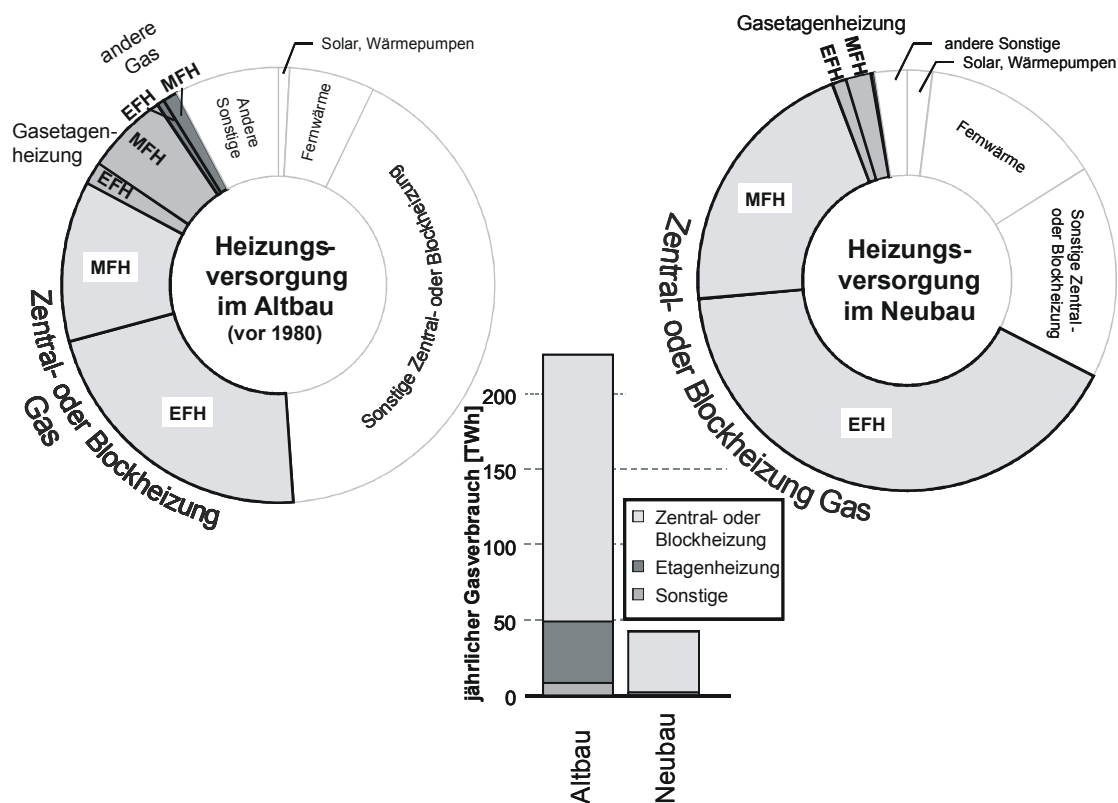
\*) der Anteil der leitungsgebundenen Gasversorgung in Land- und Forstwirtschaft wird als gering eingeschätzt

Die Gasstatistik enthält außerdem die Angabe des höchsten Tagesabgabewertes der Regional- und Ortsgasunternehmen, der in besonderer Weise zur Abschätzung möglicherweise auftretender Risiken dienen kann, sowie den mittleren Sommergebrauchswert für den Zeitbereich 01. Juni bis 31. August des Jahres. Für die Aufteilung der Verbrauchswerte auf die Lastprofile der abgebildeten Verbraucherkategorien wurde stark vereinfachend angenommen, dass die Verteilung der im Netzgebiet versorgten nicht leistungsgemessenen Verbraucher sich proportional der Verhältnisse Gesamtdeutschlands verhält. Gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen kann jedoch der dabei begangene Fehler wesentlich sein. Zudem wird unterstellt, dass der Eigen- und Betriebsverbrauch gleichmäßig über das Jahr verteilt anfällt.

<sup>3</sup> Bezeichnung in / 42 / vor 1993: „Gebietskörperschaften“

Die Haushalte Deutschlands wurden detailliert gezählt und erfasst in / 44 /. Darauf aufbauend ergibt sich aktuell die in **Bild 8-8** dargestellte Verbrauchsstruktur / 16 /.

Während im Altbau grob ein Drittel der Haushalte mit Gas beheizt sind, wovon wiederum der größte Teil auf die zentrale Versorgung entfällt, ist im Neubau die zentrale Gasversorgung dominierend und macht hier etwa zwei Drittel aus. Im Altbau kommen Gasetagenheizungen mit etwa 18 % des Verbrauchs hinzu, im Neubau macht diese Gruppe unter 5 % aus. Die anderen Gasheizungen (Einzel-, Mehrraumheizungen) sind in Neubauten zu vernachlässigen, machen auch im Altbau unter 4 % des Gasverbrauchs aus, so dass auf eine Nachbildung verzichtet wurde.



**Bild 8-8:** Heizungsversorgung in Deutschland

Ansonsten wurden die aus Bild 8-8 ersichtlichen Verhältnisse zwischen den Beheizungsarten und Baualtern übernommen. Die Gasetagenheizungen, für die kein eigenes Lastprofil vorliegt, wurden durch das Lastprofil der Verbrauchergruppe *EFH Neu* angenähert. Dem liegt die Überlegung zu Grunde, das bei diesen Heizungen die Einflussmöglichkeit ähnlich groß wie in Einfamilienhäusern ist, von der Gebäudegeometrie und der Beeinflussung durch Nachbarwohnungen (über 75 % entfällt auf Mehrfamilienhäuser) jedoch eher die Verhältnisse von Mehrfamilienhäusern zu unterstellen sind. Somit wurde ein Profil gewählt, das von seiner Ausprägung zwischen alten Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern liegt. Der absolute Fehler dürfte auf Grund der Verbrauchsverhältnisse vernachlässigbar sein.

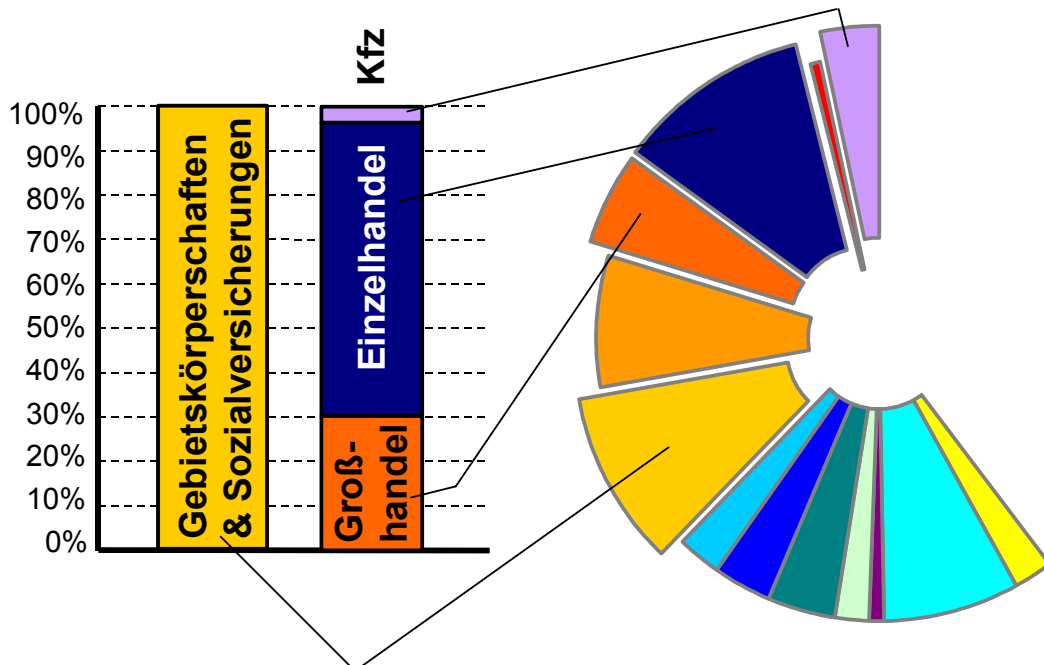
Sehr detaillierte Zahlen zu branchentypischen Verbrauchswerten aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung liegen / 3 / zu Grunde. Unter anderem wurde der Brennstoffverbrauch dieses Verbrauchersegments aufgeschlüsselt ermittelt (vgl. Bild 3-3 ).

Anhand dieser Werte wurden folgende Verbrauchsanteile abgeschätzt:

- Die Gebietskörperschaften und Sozialversicherungen sind definitionsidentisch mit dem Bilanzposten Öffentliche Verwaltung, Verteidigung und Sozialversicherungen (100%ge Zuordnung).
- Der im Bilanzposten Handel, Land- und Forstwirtschaft enthaltene Brennstoffverbrauch der Land- und Forstwirtschaft besteht in den seltensten Fällen aus dem Verbrauch leistungsgebundenen Erdgases, da die ländlichen Betriebe kaum erschlossen werden. Er wird deshalb vernachlässigt.

Für den Brennstoffverbrauch von Einzel- und Großhandel ist kein Grund ersichtlich, der eine überproportionale Präferenz eines bestimmten Brennstoffs begründen würde. Der Handel enthält darüber hinaus Handelsvermittlungen und andere Bilanzposten (/ 47 /), die wegen ihrer Verbrauchsart einem Lastprofil mit weniger großer Spreizung zuzuordnen sind. Eine Abschätzung des Verbrauchsanteils der nicht leistungsgemessenen Kunden dieser Kundengruppen ist jedoch auf Basis von / 3 / nicht möglich. Da der Handel mit Kfz einen relativ großen Anteil des Bilanzpostens Handel darstellt, wurde anteilig das Lastprofil der Kategorie 1 eingerechnet.

Das Verhältnis der Brennstoffverbrauchswerte der drei Verbrauchergruppen wird dem Gasverbrauch dieser drei Branchen zu Grunde gelegt.

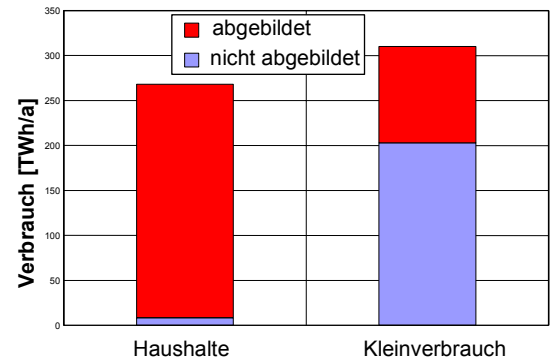


**Bild 8-9:** Ableitung der Verbrauchsanteile aus der Statistik

Während damit für die Haushalte beinahe eine Vollabbildung möglich ist, wird der Kleinverbrauch nur teilweise nachgebildet. Die dargestellten Kategorien verbrauchen etwa ein Drittel des **Brennstoffs** dieses Verbrauchersegments. Somit werden unter Einbeziehung der Haushalte deutlich über zwei Drittel des **Gas**-verbrauchs der abgebildeten Verbrauchersegmente erfasst.

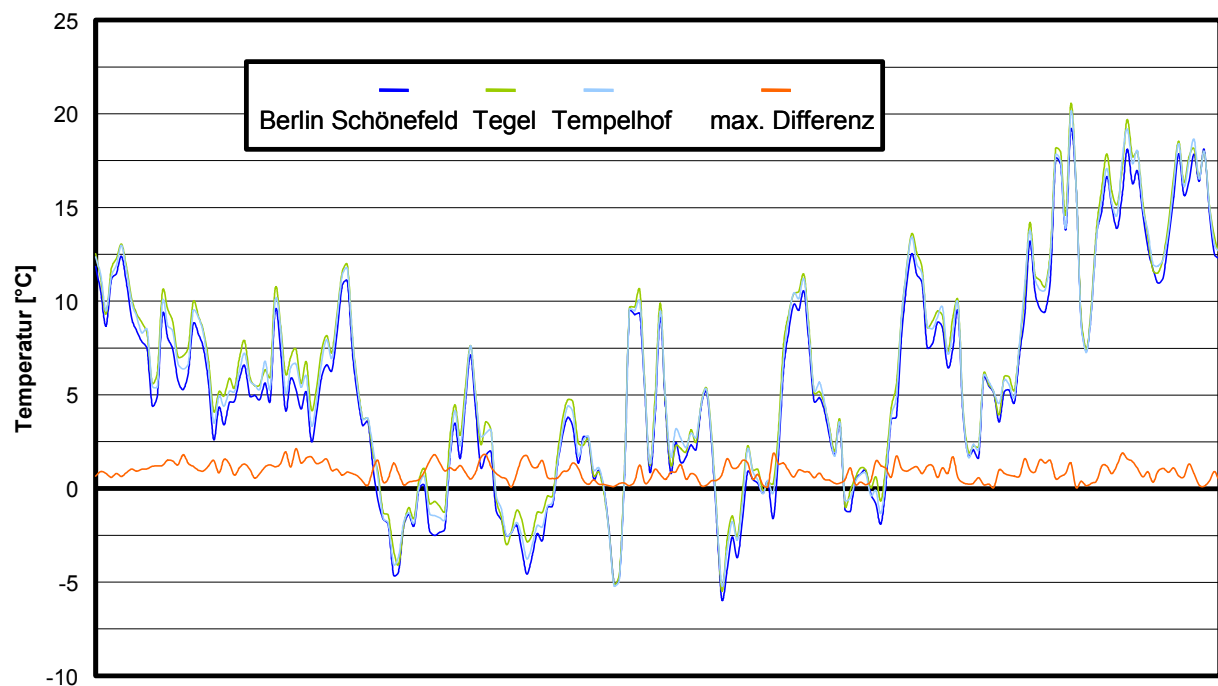
Eine Nachbildung der Restlastkurve Gesamtdeutschlands kann also nicht vollständig realisiert werden.

Trotzdem finden die erstellten Lastprofile Bestätigung.



**Bild 8-10:** Erfasste Verbrauchsanteile (Kleinverbrauch: Brennstoff)

Zu den Verbrauchsdaten wird der Temperaturverlauf gemäß der nächstgelegenen Messstation des Deutschen Wetterdienstes zugespielt, wobei diese naturgemäß nicht den Temperaturverlauf am Verbrauchsort wiedergibt. Im unten stehenden Beispiel ist für den Standort Berlin der Temperaturverlauf dreier Messorte dargestellt.



**Bild 8-11:** Temperaturverlauf dreier DWD-Messstandorte innerhalb Berlins

Wie deutlich zu erkennen ist, kann der Unterschied zwischen maximalem und minimalem Temperaturwert, insbesondere in dynamischen Verlaufsbereichen, durchaus bis zu 2,5 K betragen. Der Fehler, der dabei begangen wird, wird jedoch teilweise dadurch relativiert, dass im Lastprofilverfahren durch Verwendung der gewichteten Temperaturwerte die implizite Entdynamisierung des Temperaturverlaufs eine Schwächung dieses Fehlers bedeutet.

## b) Versorgungsnetze

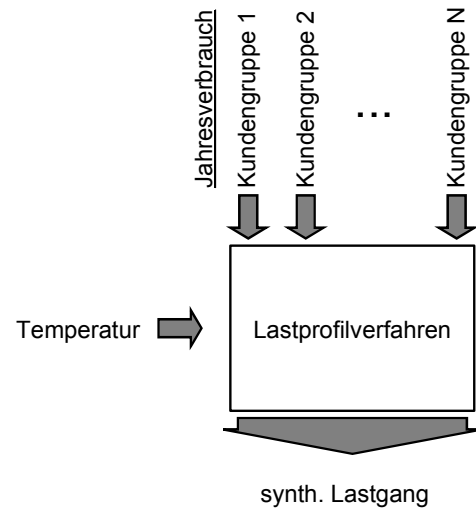
Neben der Abbildung weitestgehend identifizierbarer Verbraucher ist eine Abbildung auf Ebene der Versorgungsnetz-Gesamtverbrauchswerte attraktiv. Hintergrund ist unter anderem die Überlegung, mit welchen Unsicherheiten bei einer Komplettabbildung aller nicht registrierend erfassten Verbraucher eines Versorgers zu rechnen wäre.

Seitens des Netzbetreibers kann eine solche Abbildung mit Hilfe sehr detaillierter Informationen erfolgen. Gerade in Zeiten einer zunehmenden Konkurrenzsituation im liberalisierten Markt sind detaillierte Informationen zu Kundenstrukturen für Dritte jedoch nahezu unzugänglich. Eine Annäherung ist über vereinfachende Annahmen unter Einbeziehung von Energiestatistiken möglich, wodurch jedoch zusätzliche Unsicherheiten entstehen.

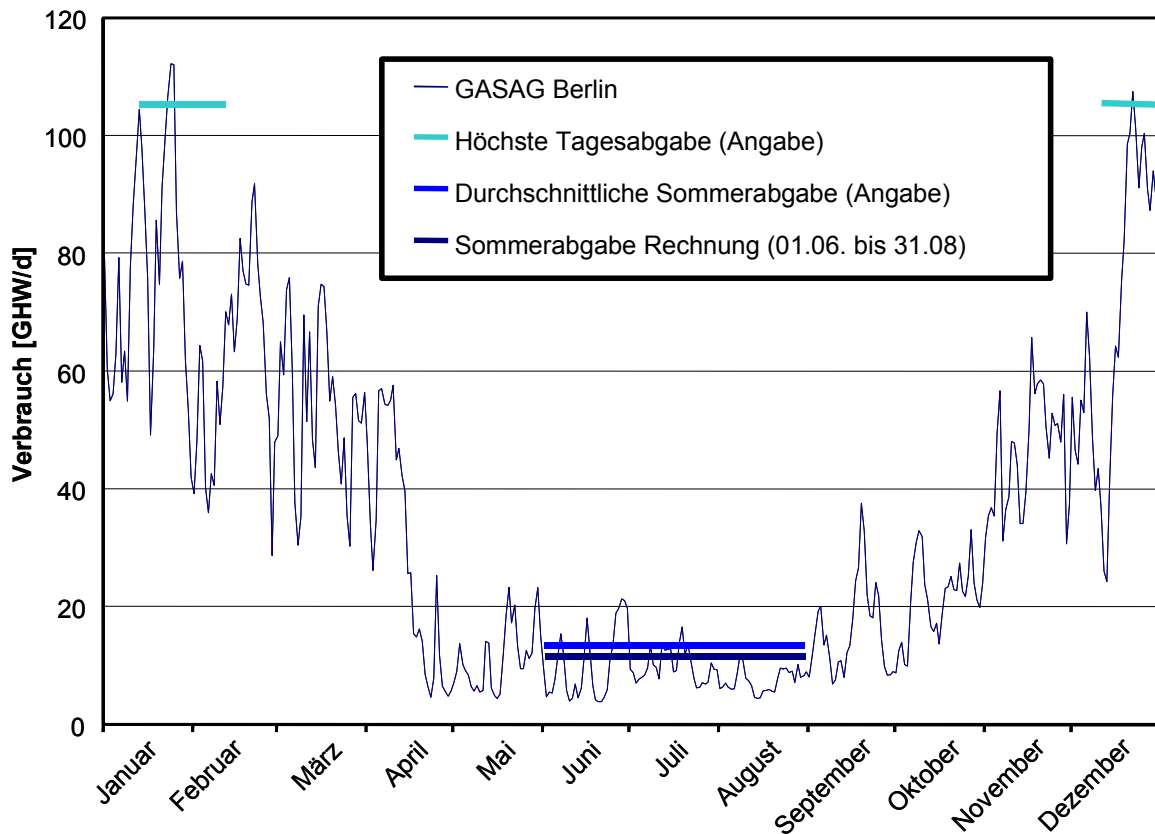
Bei Versorgungsunternehmen, die ausschließlich die Kundengruppen Haushalte, Handel und Gebietskörperschaften beliefern / 42 /, können die Angaben

über Höchstverbrauch und sommerlichen Verbrauch der sich aus einer Lastprofilaggregation ergebenden Spreizung gegenübergestellt werden. Die Verbrauchswerte der einzelnen Verbrauchergruppen dienen der Entnormierung (**Bild 8-12**). Die Zuordnung zu Lastprofilen kann auf Grund von nicht exakt konformer Bilanzierung sowie daraus resultierender Annäherungen in einem pauschalen deutschlandweiten Ansatz ebenfalls nicht ohne Verlust an Genauigkeit bewerkstelligt werden.

Für das Versorgungsgebiet der Berliner GASAG, im Jahr 2000 der siebtgrößte Gasversorger / 42 /, wurde für dieses Jahr die in **Bild 8-13** dargestellte synthetisierte Lastkurve erstellt und mit den Werten des maximalen und des durchschnittlichen sommerlichen Tagesverbrauchs verglichen. Die höchsten Verbrauchswerte ergeben sich für die Monate Januar, Februar und Dezember bei Außentemperaturen um den Gefrierpunkt. Am 25.01. ergibt sich der Zeitpunkt höchster Abgabe. Mit 112 GWh liegt der errechnete Verbrauch nur unwesentlich über dem statistisch erfassten Wert von 105 GWh. Mit steigenden Temperaturen ab März sinkt der Gasverbrauch. Deutlich zu erkennen ist das rasche Abfallen der Werte für Temperaturbereiche zwischen 5 und 20 °C. Grund hierfür ist der steile Verlauf fast aller Lastprofilkurven in diesem Bereich. Im Zeitbereich Juni bis Ende August, für den der durchschnittliche Sommerverbrauch von der Statistik erfasst wurde, liegt der errechnete Wert mit 13 GWh leicht unter dem angegebenen Wert von 15 GWh. Danach steigt der Verbrauch mit langsam fallenden Außentemperaturen wieder an, bis er am 26.12. mit 104 GWh beinahe exakt den berechneten maximalen Verbrauch erreicht.

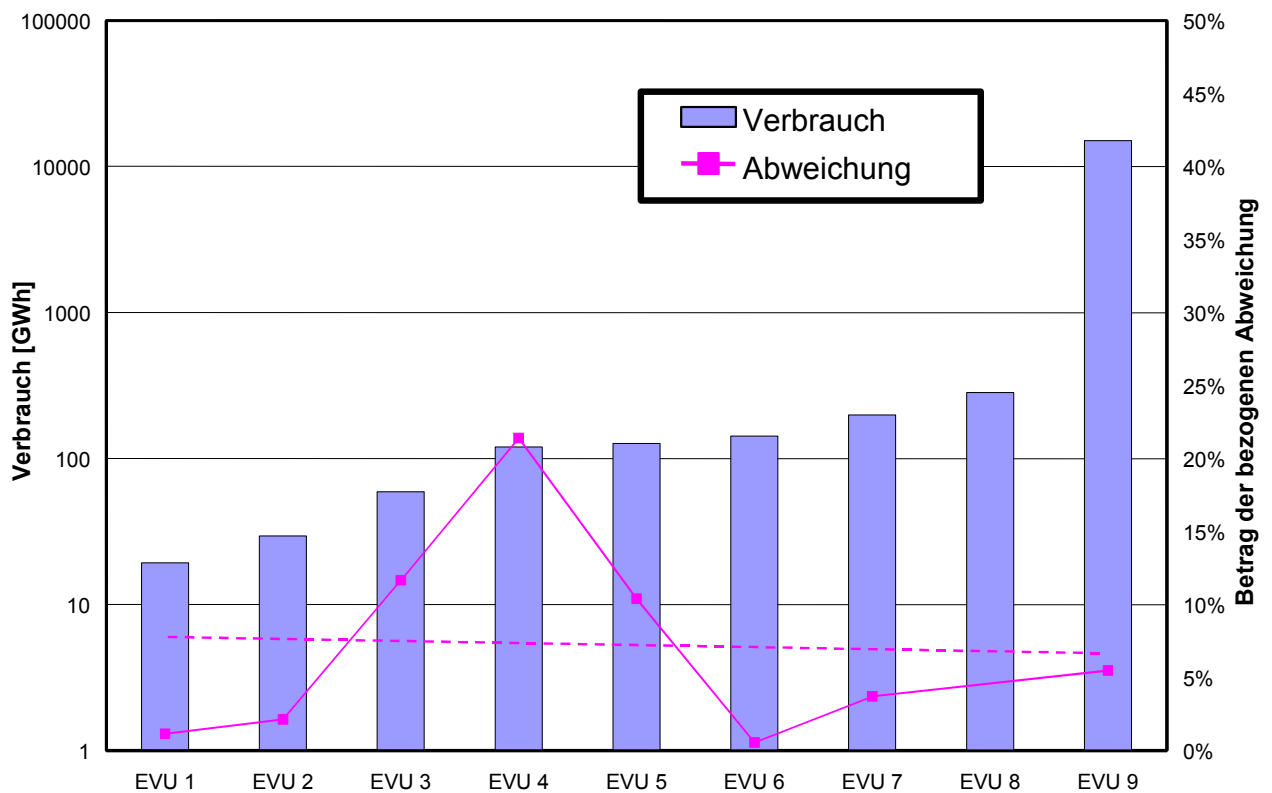


**Bild 8-12:** Lastsynthese



**Bild 8-13:** Synthetisierte Lastkurve der GASAG, Berlin, für das Jahr 2000

Insgesamt wurden auf Basis der Angaben der *deutschen Gasstatistik* neun Energieversorgungsunternehmen bezüglich ihrer Synthesefehler untersucht.



**Bild 8-14:** Bezogene Fehler der Synthese im kalten Temperaturbereich für 9 EVU

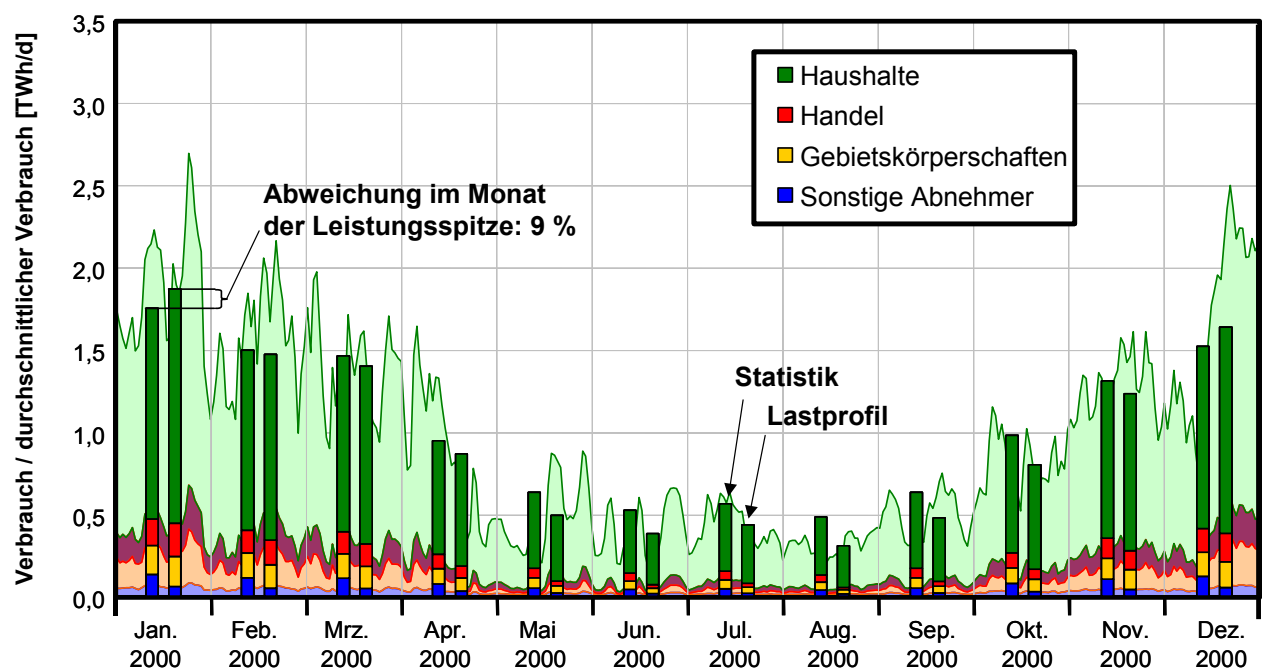
In **Bild 8-14** sind die Abweichungen gegenüber der Angabe der höchsten Tagesabgabe dargestellt. Die Unternehmen sind dabei nach steigender Jahresmenge geordnet dargestellt. Für acht von neun untersuchten Versorgungsnetzen ergaben sich die angesichts der relativ pauschalen Vorgehensweise sehr zufriedenstellenden Ergebnisse von Fehlern unter oder knapp über 10 %. Bei EVU 4 trat allerdings ein Synthesefehler von über 20 % auf, was dafür spricht, dass hier doch deutlich die Struktur der versorgten Verbraucher vom bundesdeutschen Durchschnitt abweicht und nur die detaillierte Untersuchung mit Detailangaben zu besseren Ergebnissen führt. Detaillierte Untersuchungen der kausalen Zusammenhänge waren durch den sehr globalen Ansatz jedoch nicht möglich.

### c) Verbrauchsstatistik

Die Synthese von Verbrauchsgängen ist letztendlich bis hin zu Lastkurven von Verbrauchergruppen in Aggregation der gesamten Bundesrepublik Deutschland an Hand geeigneter statistischer Datensammlungen möglich. Im Hinblick darauf, dass der Auswahl und Klassifizierung der abgebildeten Verbrauchergruppen statistische Kenngrößen der BRD zu Grunde gelegt wurden, erscheint dieses Vorgehen konsequent. Allerdings wird der Fehler durch Annahme der Gleichverteilung der Kundenstruktur bei der Zuordnung zu Versorgungsunternehmen nicht eliminiert, sondern lediglich vergleichmäßigt und dadurch reduziert.

Entnormiert man auf der Basis der Abgabewerte der deutschen Gasstatistik aller Versorgungsunternehmen, ist in monatlicher Aggregation ein Vergleich mit den Angaben des Statistischen Bundesamtes möglich.

Die Zuordnung der Temperaturmessstandorte erfolgte ausschließlich nach geographischem Standort mit Hilfe der Landkarte. Lokal vorherrschende Klimabesonderheiten wurden nicht berücksichtigt.



**Bild 8-15:** BRD, 2000: Synthetisierte und gemessene Monatsmittelwerte im Vergleich



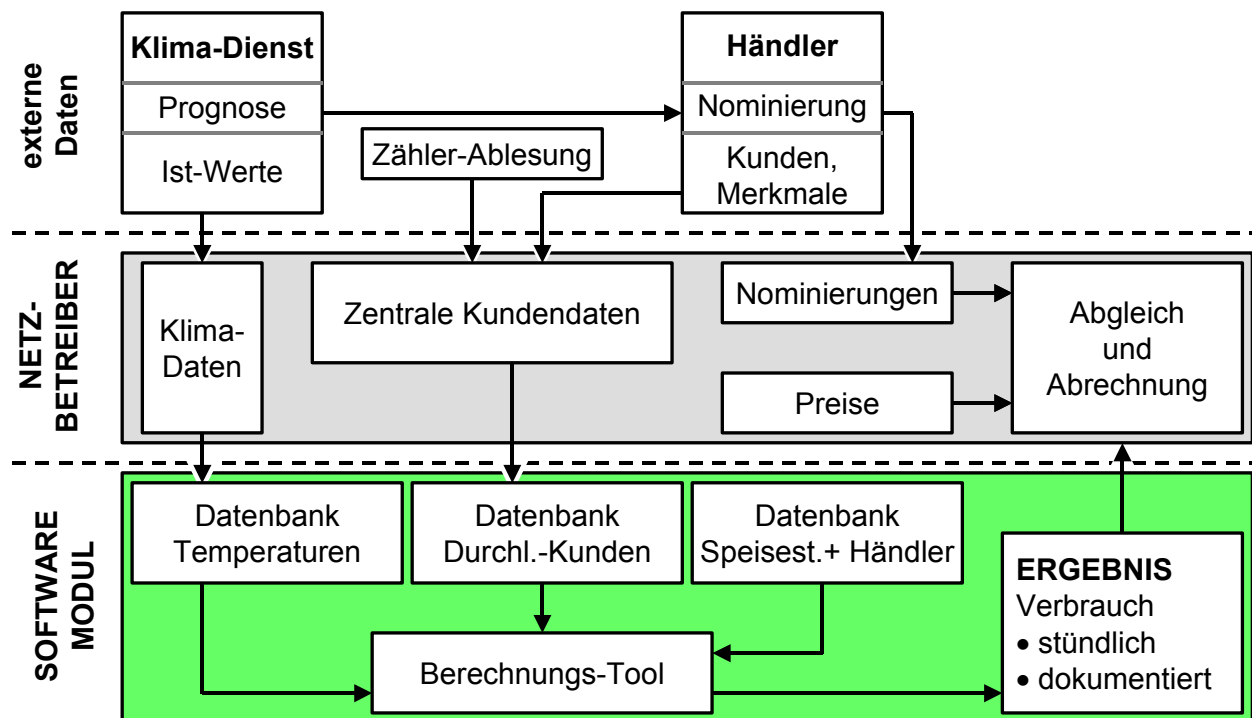
In **Bild 8-15** ist die synthetisierte Summenkurve der Verbrauchergruppen Haushalte, Handel und Gebietskörperschaften dargestellt, wobei die privaten Haushalte deutlich den größten Verbrauchsanteil ausmachen. Die Verbrauchsspitze im dargestellten Jahr 2000 stellt sich am 24. Januar ein. Ab Mitte April fällt der im Winter mit Werten bis zu 2,76 TWh pro Tag hohe Verbrauch rasch ab und erreicht einen mittleren Sommerverbrauch von etwa 370 GWh.

Wie sich zeigt, ist trotz der eingegangenen Näherungen und Abschätzungen eine sehr gute Abbildung in monatlicher Aggregation erreicht. Im kritischen Monat der Leistungsspitze, dem Januar, beträgt die Abweichung etwa 9 %, was für ein rein synthetisches Verfahren auf einer so globalen Betrachtungsebene als durchaus zufriedenstellend zu betrachten ist.

Es fällt auf, dass die Spreizung zwischen warmen und kalten Verbrauchswerten tendenziell etwas zu groß erscheint. Bei der Synthese wurde keine Anpassung der Lastprofile an die enorm vergrößerte Kollektivstärke vorgenommen, was zu einer Reduktion der Spreizung der Lastprofile hätte führen müssen. Insofern bestätigt der Trend des Ergebnisses die Lastprofile für die vorgesehene Anwendung.

### 8.3. Anwendung in der Praxis

Die dargestellten Methoden und Ergebnisse lassen sich mit relativ geringem technischen Aufwand von Anwendern und Interessierten überprüfen und nachvollziehen. Da das vorgestellte Verfahren in der Praxis Anwendung findet, ist jedoch ab einer Größenordnung von mehr als einigen Dutzend Durchleitungskunden eine standardisierte und in hohem Maße automatisierte Umsetzung notwendig. Tatsächlich kann dies heute sinnvoll nur mittels EDV vollzogen werden. **Bild 8-16** visualisiert die Struktur einer so gestalteten automatisierten Abwicklung.



**Bild 8-16:** Automatisierte Abwicklung von Durchleitungsfällen

In der Regel wird der Netzbetreiber bereits bisher die Verwaltung seiner Kunden in einer Datenbank realisieren (grau dargestellt in Bild 8-16). Hier sind neben den zentralen Kundendaten Klimadaten und Preisstrukturen hinterlegt. Ab sofort werden hier außerdem die für die Netzzugangsverträge notwendigen Daten (Verbrauchertyp, Jahresverbrauch etc.) verwaltet. Zur Abwicklung der Durchleitungsanfragen bekommt der Anwender vom Verfahren nur eine „Black Box“ zu Gesicht, die ihm in geeigneter Weise Ein- und Ausgabeoberflächen bietet, mit der er Nominierungen, Klimadaten etc. zuspielden kann. In Bild 8-16 ist das entsprechende Modul grün dargestellt.

Dazu sind externe Daten von Seiten eines Klima-Dienstes, der Kunden und des durchleitenden Händlers notwendig. Unabdingbar ist der Bezug der Ist-Werte der Außentemperatur. Darüber hinaus wird der Netzbetreiber Prognosewerte beziehen, um seine Netzplanung gestalten zu können. Letztere benötigt auch der Händler zur Erstellung seiner Nominierung.

Ein neu hinzukommendes Lastprofil-Softwaremodul benötigt aus der bisherigen Verwaltungsstruktur Eingabedaten, bevor es automatisiert das Ergebnis an das Abrechnungsmodul ausgeben kann. Hierzu gehören Temperaturdaten, die Struktur der Kundendaten sowie Daten über den Netzaufbau.

Für die praktische Umsetzung wurde vom Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München eine solche Software-Umsetzung in Form einer Demonstrations- und Anwendungs-Software gestaltet, die das Verfahren zu erläutern hilft und in begrenztem Umfang einen Einsatz in der Praxis gestattet. Hier werden die eingegebenen Daten in einer Datenbank abgelegt und je nach Gebrauch als kumulierte Verbrauchswerte ausgegeben. Eine Abrechnung kann händler- und einspeisestellenscharf für jede Stunde des Jahres erfolgen, so dass eine verursachergerechte Aufteilung der Netzbelastung ermöglicht wird. In Ermangelung kommerzieller Alternativen war und ist dieses Softwaretool während der Umsetzung der Liberalisierung eine fundamentale Stütze.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Die sich neu ordnenden Strukturen der Energieversorgung in Deutschland und Europa verändern die Beziehungen der Versorgungsunternehmen zueinander sowie zu den Verbrauchern. Vor dem Hintergrund europäischer Vorgaben fordert die deutsche Gesetzgebung eine Öffnung des Erdgasmarktes und eine Entflechtung der verbundenen Energieversorgungsunternehmen in Handels- und Transportbereiche. Letztere bieten ihre Dienstleistung ihrem vormals verbundenen Handelsbereich als einem unter vielen gleich zu berechtigenden Händlern an. Die Entgelte, die hierfür anfallen, müssen sich verursachergerecht nach der Netzbelastung richten.

Die Liberalisierung erfolgt gemäß Vorgabe zeitlich gestaffelt nach Verbrauchergröße. Während die Ermittlung der Netzbelastung, die auf der Versorgung eines leistungsgemessenen Verbrauchers resultiert, unproblematisch ist, hat die Einbindung nicht registrierend erfasster Kleinkunden in die liberalisierten Märkte die Entwicklung neuer Instrumente und Verfahren erforderlich gemacht, die eine zeitlich hoch auflösende Nachbildung des Verbrauchsgangs ermöglichen.

Eine mathematisch-statistische Abbildung realer Verbrauchsverläufe sollte dabei die strukturellen anlagentechnischen und verbraucherspezifischen Gegebenheiten zur Grundlage haben und die wesentlichen Einflussfaktoren zufriedenstellend berücksichtigen. In der vorliegenden Arbeit werden die Entwicklung und die Ergebnisse solcher parametrisierter Energiebezugsprofile vorgestellt, die unter anderem zur Anwendung einer dynamischen Lastsyntheserechnung genutzt werden können.

Dabei konstituieren sich die abzubildenden Kundengruppen aus privaten Haushalten ebenso wie aus Verbrauchern aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung, wobei sich die Erfassung und Abbildung der Verbraucher an den energiewirtschaftlichen Realitäten in Deutschland orientieren müssen. Hierzu konnten umfangreiche und detaillierte statistische Daten einen gesicherten Hintergrund garantieren.

Die wesentlichen Einflussfaktoren, die den Gasbezugsgang dieser Verbrauchergruppen bestimmen, sind einerseits die klimatischen Außenbedingungen, andererseits jedoch individuell stark streuende Einflussgrößen wie Verbrauchsverhalten, Versorgungsumfang oder Regelphilosophie. Gleichzeitig muss jedoch der Umfang zur Datenrecherche so gering wie möglich gehalten werden, insbesondere um eine Diskriminierung der fremdversorgten Kleinkunden zu vermeiden. Erfahrungsgemäß kann hier angemerkt werden, dass die Differenziertheit der vorliegenden Kenntnisse der Versorgungsunternehmen über die von ihnen versorgten Verbraucher sehr unterschiedliche Qualität besitzen, teilweise jedoch sehr beschränkt sind. Gerade vor dem Hintergrund steigender Rationalisierung in Folge des zunehmenden Konkurrenzdrucks wird der Aufwand zur Pflege aktueller Kundendatenbanken gescheut, der zu betreibende Aufwand zur Ermittlung detaillierter Verbraucherwerte wäre dementsprechend hoch.

Im hier vorgestellten Verfahren wurde deshalb ein Kompromiss gefunden zwischen Abbildungstiefe und zu tätigendem Rechercheaufwand, indem die notwendigen Eingaben auf den Verbrauchertyp, den Jahresverbrauch sowie den klimatischen Standort beschränkt wurden.

Die entwickelten Lastprofile bilden den Tagesverbrauch von Verbraucheraggregationen durch funktionale Lastprofilkurven, die Verteilung auf Stundenwerte hingegen tabellarisch ab. Berücksichtigung finden sowohl das Baualter von Haushalten wie auch der Einfluss der Wochentage auf den Verbrauchsgang in Gewerbe, Handel oder Dienstleistung. Mit Hilfe weniger Eingabegrößen ist somit eine rechnerische Aufteilung des Jahresverbrauchs auf einzelne Stunden ermöglicht. Dabei fand eine sigmoide Regressionsfunktion der Form

$$y = \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{x - x_0} \right)^c} + D$$

Anwendung, die das strukturelle Zusammenwirken des Verbrauchsgangs der betrachteten Kundengruppen in allen Bereichen berücksichtigt.

Insgesamt konnte eine sehr breite Datenbasis von Verbrauchserfassungen an über 250 Messstellen aus dem gesamten Bundesgebiet in die Untersuchungen eingebunden werden, wobei die Anzahl der abgebildeten Verbraucher durch die Erfassung homogener Verbraucherkollektive noch deutlich darüber liegt. Durch die breite geographische Streuung wurde sichergestellt, dass es weder durch lokale Besonderheiten noch durch die ungleich verteilte Erfassung von Einflussfaktoren zu einer Verfälschung der Daten kam. Die Analyse der statistischen Zuverlässigkeit der Ergebnisse zeigt einerseits die Belastbarkeit der Ergebnisse auf, andererseits wurden die gewählten Aggregationen und Methoden mit Hilfe statistischer Tests abgesichert.

Die entwickelten Lastprofile können für unterschiedliche Zwecke Verwendung finden, geben sie doch die Möglichkeit, statistische Aggregationen von Verbrauchsgängen nachzubilden. An Hand ausgewählter Bilanzposten konnte in der vorliegenden Arbeit die Nachbildung von über 60 % der Restlastkurve Deutschlands genutzt werden, um mit Hilfe von statistischem Datenmaterial die gefundenen Lastprofile zu plausibilisieren.

Dazu wurden Angaben der deutschen Gasversorgungsunternehmen, die in jährlicher Aggregation vorlagen, zur Anwendung des Profilverfahrens genutzt. Mit sehr guter Genauigkeit stimmen die Ergebnisse für die Verbraucherkategorien „Haushalte“, „Gebietskörperschaften und Sozialversicherungen“ und „Handel“ mit Angaben des Statistischen Bundesamtes in monatlicher Aggregation überein, was sowohl die Anwendbarkeit in der Praxis als auch die Richtigkeit der entwickelten Profile bestätigt. Eine Beschreibung der zusätzlichen Erfordernisse, die sich durch den Praxiseinsatz der vorgestellten Verfahren ergeben, schließt die Arbeit ab.

## 10. Literatur

- / 1 / **Wagner, U., Rouvel, L., Schaefer, H.:** *Nutzung Regenerativer Energien*,  
9. neubearbeitete und erweiterte Auflage, ISBN 3 – 98 051 179 – 3 – 4  
E&M Energie und Management Verlagsgesellschaft mbH, München 1999
- / 2 / **Wagner, U.:** *Gewinnen und Verarbeiten energetischer Daten* ,  
4. überarbeitete und erweiterte Auflage, ISBN 3 – 87 806 – 047 – 5  
E&M Energie und Management Verlagsgesellschaft mbH, München 1997
- / 3 / **Geiger, B. et al.:** *Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung*, ISBN 3 – 7908 – 1216 – 1, Physica-Verlag Heidelberg 1999
- / 4 / **Grohmann, J.:** *Lastanalyse und –synthese zur Optimierung leitungsgebundener Energiesysteme* , ISBN 3 – 933283 – 21 – 1  
E&M Energie und Management Verlagsgesellschaft mbH, München 2000
- / 5 / **Heinhold, J., Gaede, K.-W.:** *Ingenieurstatistik* , ISBN 3 – 486 – 31744 - X  
Oldenbourg Verlag, München 1979
- / 6 / **Geiger, B., Hellwig, M.:** *Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Bundesverbandes kommunaler Unternehmen e.V. – Zwischenbericht*,  
unveröffentlicht, München November 2001
- / 7 / **Geiger, B., Hellwig, M.:** *Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Bundesverbandes kommunaler Unternehmen e.V. – Haushalte*,  
<http://www.bgw.de>, Stand Februar 2003  
angezeigte Veröffentlichung gemäß §6 Absatz 1 Satz 2 Promotionsordnung
- / 8 / **Geiger, B., Hellwig, M.:** *Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Bundesverbandes kommunaler Unternehmen e.V. – Gewerbe, Handel und Dienstleistung*, <http://www.bgw.de>, Stand Februar 2003  
angezeigte Veröffentlichung gemäß §6 Absatz 1 Satz 2 Promotionsordnung
- / 9 / **Geiger, B., Hellwig, M.:** *Gaslastprofile für nicht leistungsgemessene Kunden*,  
in: BWK, 5/ 2002  
angezeigte Veröffentlichung gemäß §6 Absatz 1 Satz 2 Promotionsordnung
- / 10 / **Geiger, B., Hellwig, M.:** *Gaslastprofile für nicht leistungsgemessene Kunden*,  
in: BWK, 1/2 2003  
angezeigte Veröffentlichung gemäß §6 Absatz 1 Satz 2 Promotionsordnung
- / 11 / **Hellwig, M.:** *Lastprofile – Schlüssel für liberalisierte Energiemärkte*,  
in: Tagungsband zur Schliersee-Fachtagung *Techniken und Instrumente einer innovativen Energiewirtschaft*, Kurzentrum Schliersee, 02./03. Mai 2001  
FfE Schriftenreihe Band 25, ISBN 3-933283-23-X

- / 12 / **Geiger, B., Hellwig, M.:** *Analyse und Synthese von Gaslastprofilen für Haushalts-, Gewerbe-, Handel und Dienstleistungskunden* in: Tagungsband zur Schliersee-Fachtagung *Leistungsorientierte Energiewirtschaft Impulse aus der Energieforschung*, Kurzentrum Schliersee, 29./30. April 2003  
FfE Schriftenreihe Band 25, ISBN 3-933283-23-X  
angezeigte Veröffentlichung gemäß §6 Absatz 1 Satz 2 Promotionsordnung
- / 13 / **Geiger, B., Hardi, M.:** *Energieanstoßberatung des Kaminkehrerhandwerks in Bayern*, Endbericht, München 2002
- / 14 / **Rouvel, L.:** *Raumkonditionierung – Wege zum energetisch optimierten Gebäude*, ISBN 3. – 540. – 09048. – 7  
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, Berlin/ Heidelberg 1978
- / 15 / **Elsberger, M.:** *Nutzenergiebedarf klimatisierter Gebäude mittels Monatsbilanzierung*, ISBN 3 – 933283 – 22 – 1  
E&M Energie und Management Verlagsgesellschaft mbH, München 2001
- / 16 / **IfE:** Unveröffentlichte Daten des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München
- / 17 / **Geiger, B.:** *Lastprofile nicht leistungsgemessener Kunden – Chancen und Grenzen*, in: Tagungsband Euroforum-Konferenz „Der Zukunftsmarkt Erdgas“, 18./19. 03. 2002 Düsseldorf
- / 18 / **Geiger, B., Rouvel, L.:** *Auswirkungen von Heizung, Lüftung und Wohnverhalten auf Energieeinsparung, Bauschäden und Komfort*, Vortrag, gehalten am Technischen Arbeitstag 1988 in Ingolstadt
- / 19 / **Marold, J.:** *Energiebezugsgänge und Lastprofilverfahren*, Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Mai 2002
- / 20 / **Wolf, S.:** *Arbeitskreis Lastprofile: Grenze ZFA für den Einsatz von registrierender Zählerfernauslesung*, unveröffentlichte Arbeit
- / 21 / **Richtlinie 98/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 betreffend gemeinsame Vorschriften für den Erdgasbinnenmarkt**, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft  
<http://www.bmwi.de> , Stand 28.08.00
- / 22 / **Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG)** vom 24.04.1998 <http://www.bmwi.de> , Stand 28.08.01
- / 23 / **Erstes Gesetz zur Änderung des Gesetzes zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts** vom 20.12.2000 <http://www.bmwi.de> , Stand 21.12.00
- / 24 / **Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (Artikel 1 des Sechsten Gesetzes zur Änderung des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen)** vom 26.08.1998, <http://www.buka.de> , Stand 24.09.01

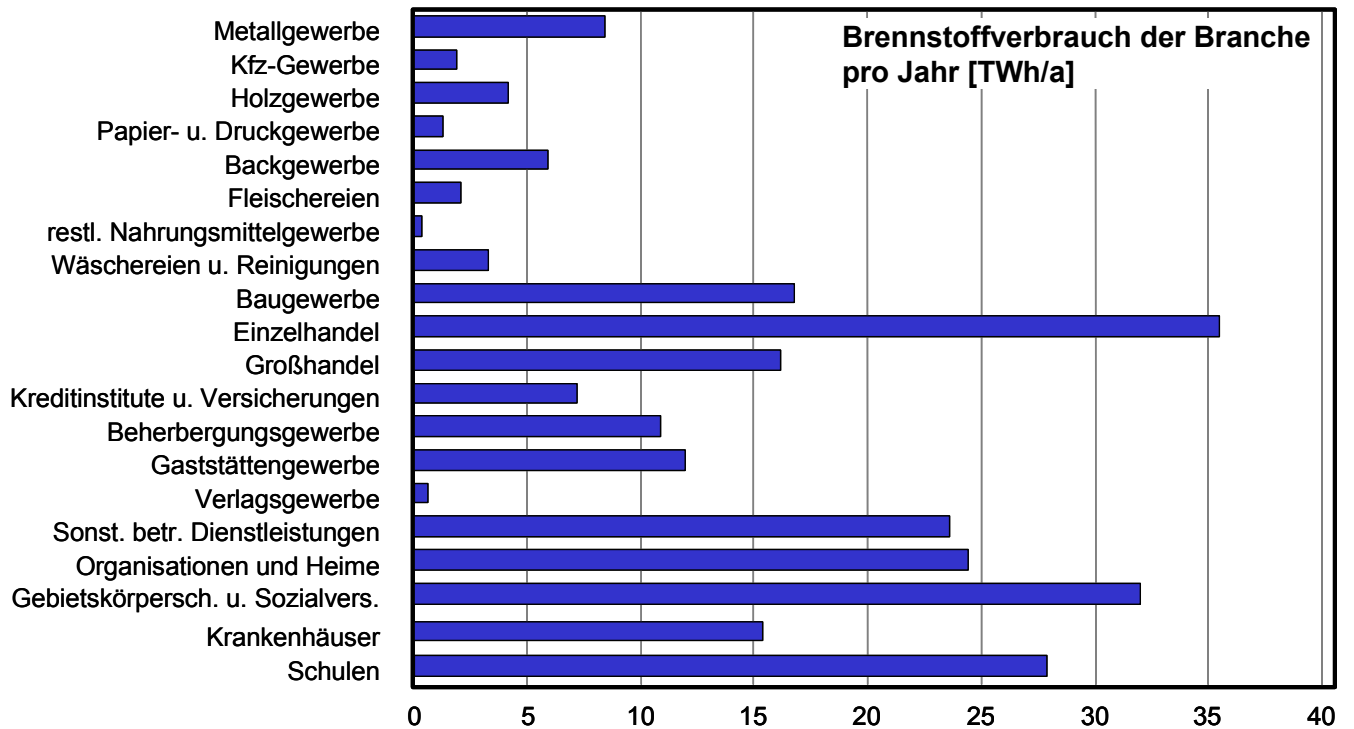
- 
- / 25 / **Verbändevereinbarung zum Netzzugang bei Erdgas** vom 04.07.00,  
1. Nachtrag vom 15.03.01  
2. Nachtrag vom 21.09.01  
<http://www.bgw.de> , Stand 04.04.02
- / 26 / **DVGW Regelwerk: Technische Regeln/ Arbeitsblatt G260/ Januar 2000**  
Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs, Bonn, Januar 2000  
ISBN 0176 – 3490
- / 27 / **DVGW Regelwerk: Technische Regeln/ Arbeitsblatt G600/ Mai 1972**  
Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs, Bonn, Mai 1972
- / 28 / **Deutscher Wetterdienst: Witterungsreport/ Daten**  
ISBN 1435 – 6797
- / 29 / **Deutscher Wetterdienst: Messdaten von Außentemperatur, Luftfeuchte und Wind**
- / 30 / **VDI GET Jahrbuch 2000**, VDI Gesellschaft Energietechnik,  
ISBN 3 – 18 – 401640 – 4, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf 2000
- / 31 / **VDI DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau**
- / 32 / **VDI 2067 Blatt 2: Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen**  
Raumheizung
- / 33 / **VDI 3807: Energieverbrauchswerte für Gebäude**
- / 34 / **Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)**  
gültig ab 1. Februar 2002, Bundesgesetzblatt I 2002, S. 3085
- / 35 / **Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – Wärmeschutz-V)**  
gültig ab 1. Januar 1995, Bundesgesetzblatt I 1994, S. 2121
- / 36 / **Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – Wärmeschutz-V)**  
gültig ab 1. Januar 1984, Bundesgesetzblatt I 1982, S. 209
- / 37 / **Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – Wärmeschutz-V)**  
gültig ab 11. November 1977, Bundesgesetzblatt I 1977, S. 1554
- / 38 / **Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG)**, vom 22. Juli 1976, Bundesgesetzblatt I 1977, S. 701
- / 39 / **Geiger, B., Lindhorst, H.: Energiewirtschaftliche Daten**, in: BWK 1/2 2001
- / 40 / **AG Energiebilanzen**, RWE Energie AG, IfE/TU München, FfE München, München 2001
- / 41 / **AG Energiebilanzen, Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland**,  
1971 Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH - VWEW

- 
- / 42 / **Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft**, 122. *Gasstatistik Bundesrepublik Deutschland* Berichtsjahr 2000
- / 43 / **Statistisches Bundesamt**, *Ausgewählte Zahlen zur Energiewirtschaft*, Monatshefte
- / 44 / **Statistisches Bundesamt**, *Volkszählung 1987 – Teil 2: Gebäude- und Wohnungszählung, Sonderauswertung zur Wohnungs- und Beheizungsstruktur*, Wiesbaden 1998
- / 45 / **Statistisches Bundesamt**, *Systematik der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen* Ausgabe 1979, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart und Mainz, ISBN 3 – 17 – 003183 - X
- / 46 / **Statistisches Bundesamt**, *Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen Ausgabe 1993*, Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart, ISBN 3 – 8246 – 0363 - 2
- / 47 / **Statistisches Bundesamt**, *Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen Ausgabe 2003*, <http://www.destatis.de>, Stand 30.01.02
- / 48 / **Zentralverband Gartenbau**, *Gartenbau Report – Sonderausgabe zur aktuellen Energiepreis-Krise*, Bonn 8. September 2000, <http://www.g-net.de/zvg/zvg.htm>, Stand 25.03.03
- / 49 / **Der Bundesminister für Forschung und Technologie**, *Rationelle Energienutzung in Verwaltung, Handwerk und Gartenbau*, ISBN 3-88585-077-X, Verlag TÜV Rheinland Köln 1982
- / 50 / **Tantau, H.-J.**, *Heizungsanlagen im Gartenbau*, ISBN 3-8001-5123-5, Ulmer Verlag Stuttgart 1983
- / 51 / **Recknagel, Sprenger, Schramek**: *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*, ISBN 3 – 486 – 26450 – 870. Auflage, Oldenbourg Verlag München 2001
- / 52 / **Hüggling, Th. et al.**: *Technische Rahmenbedingungen für den Netzzugang bei Erdgas*, in GWF Gas Erdgas 11/01
- / 53 / **Rouvel, L.**: *Zusammenhänge zwischen Wärmebedarf und Klimadaten in einer allelektrischen Siedlung*, in FfE-Berichte Nr. 1, März 1969
- / 54 / **Forschungsstelle für Energiewirtschaft**: *Technologien zur Einsparung von Energie im Endverbrauchssektor Haushalt und Kleinverbrauch*, FfE-Schriftenreihe 77-02, München 1975
- / 55 / **Forschungsstelle für Energiewirtschaft**: *Wärmeerzeuger für die Raumheizung und Warmwasserbereitstellung*, Endbericht im Rahmen des Verbundprojektes ISOTEG, München 2002
- / 56 / **Gust, M., Laukmichel, H-J. und Sztuka, B.**: *Die verzögerte Wirkung des Wetters auf die Gasabgabe*, in GWF Gas Erdgas 02/91
- / 57 / **Fuhrberg-Baumann, J.**: *Voraussetzungen für den Einsatz von Lastprofilen im Gasbereich*, in: gwf Gas Erdgas 12/2002
- / 58 / **Sträuber, T., Kubessa, M.**: *Lastprofile nicht leistungsgemessener Kunden für den liberalisierten Gasmarkt*, in: gwf 10/01

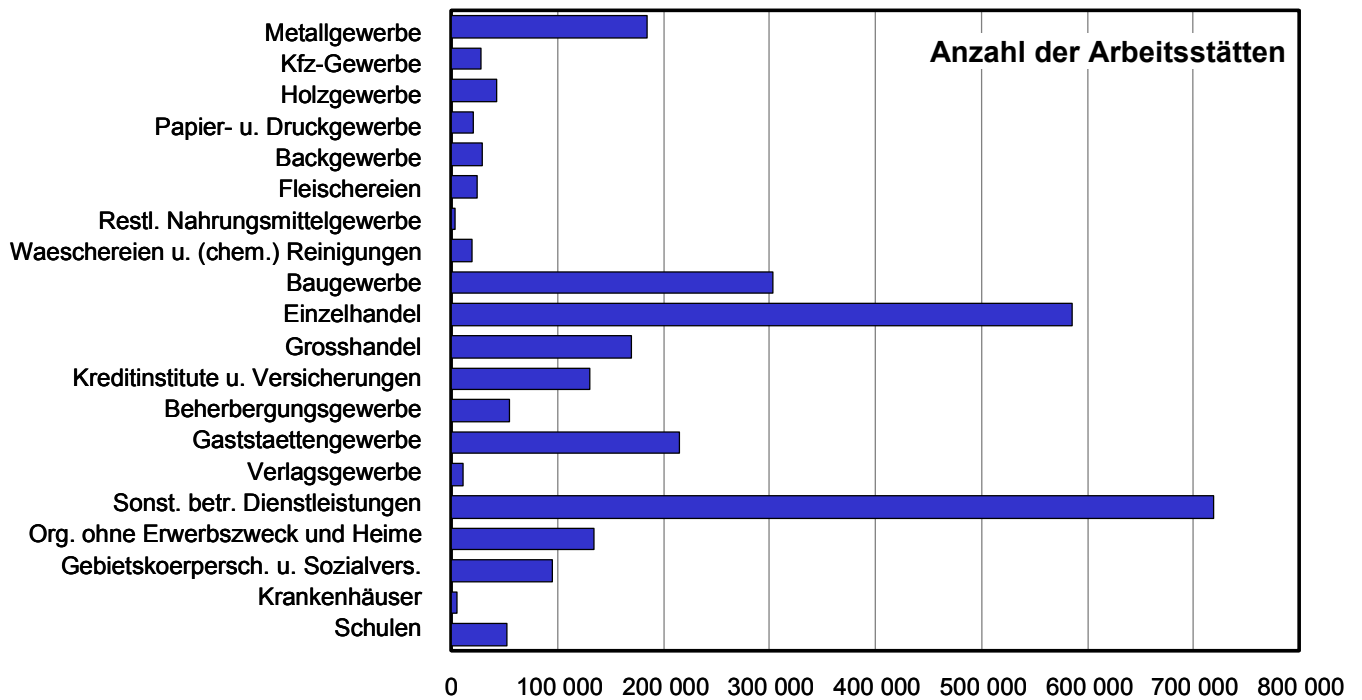


# 11. Anhang 1: Brennstoffverbrauch in G/H/D

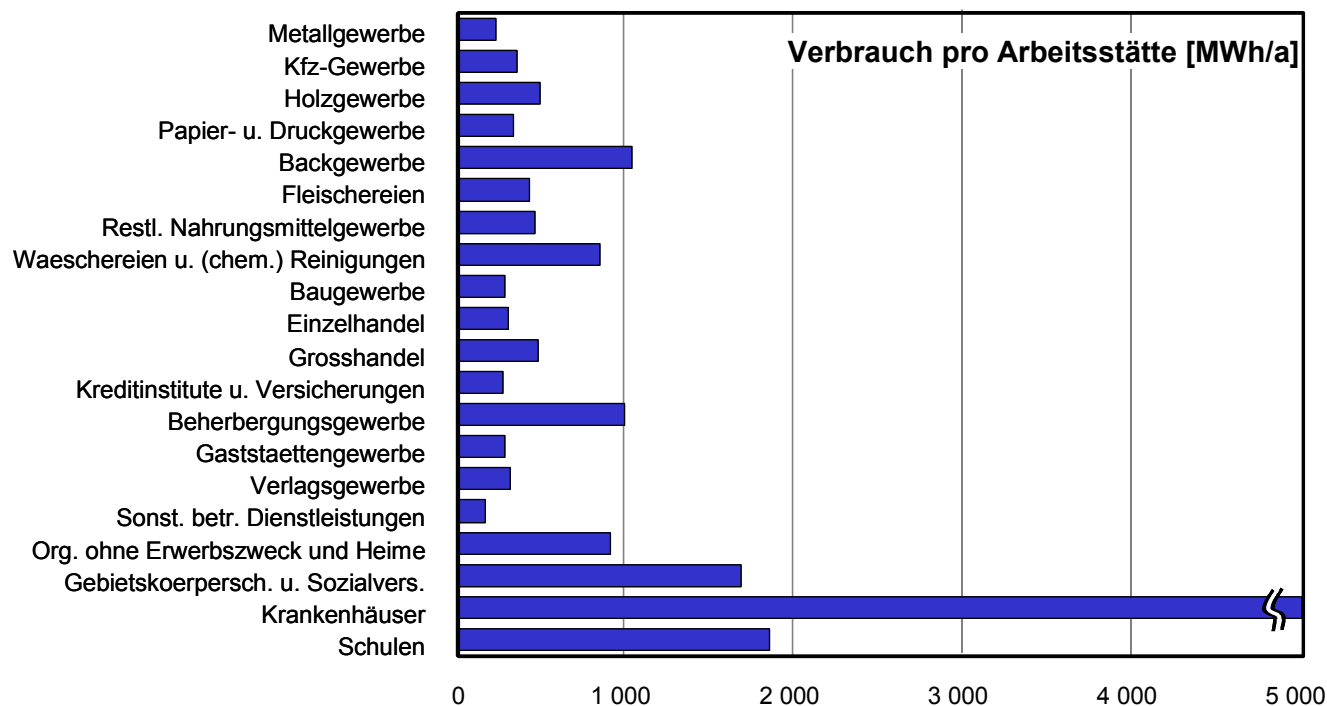
## 11.1. Branchenverbrauch



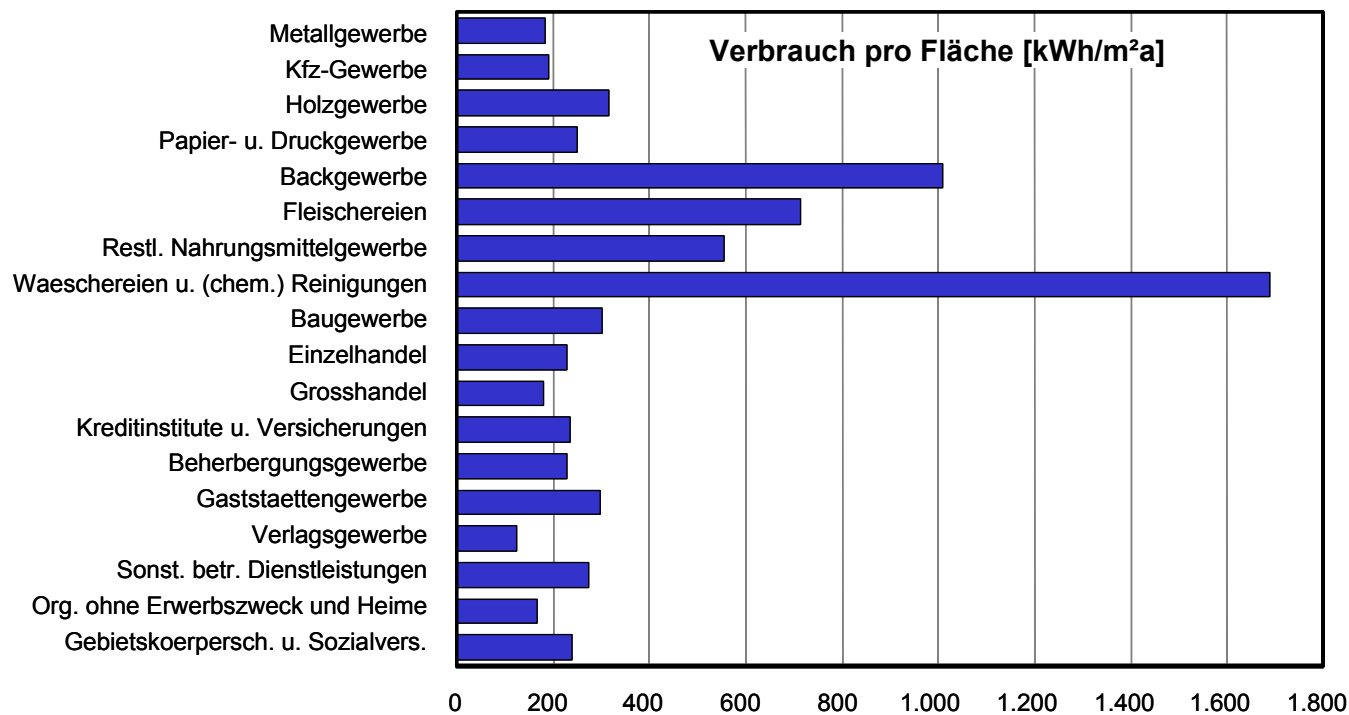
## 11.2. Arbeitsstättenanzahl



### 11.3. Arbeitsstättenpezifischer Verbrauch



### 11.4. Flächenspezifischer Verbrauch



## 12. Anhang 2: Koeffizienten und F-Faktoren

Die Abbildung der Tagesverbrauchswerte folgt der Vorschrift

$$W(\vartheta_A) = F \cdot \left( \frac{A}{1 + \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}} \right)^C} + D \right) \cdot \text{Entnormierungsfaktor} .$$

Die Faktoren und Koeffizienten dieser Abbildungsvorschrift finden sich für die abgebildeten Verbrauchertypen in nachstehender Tabelle.

Kategorie		Koeffizienten				Wochentagsfaktoren						
		A	B	C	D	F <sub>Mo</sub>	F <sub>Di</sub>	F <sub>Mi</sub>	F <sub>Do</sub>	F <sub>Fr</sub>	F <sub>Sa</sub>	F <sub>So</sub>
Haushalte	EFH Alt	3,130	-37,19	5,752	0,0983	1	1	1	1	1	1	1
	EFH Neu	2,794	-37,18	5,403	0,1714	1	1	1	1	1	1	1
	MFH Alt	2,496	-34,74	5,661	0,1021	1	1	1	1	1	1	1
	MFH Neu	2,059	-34,66	6,427	0,2807	1	1	1	1	1	1	1
Gewerbe, Handel und Dienstleistung	Kategorie 1 (Metall & Kfz)	2,754	-34,76	6,628	0,0558	1,1074	1,0589	1,0345	0,9999	1,0919	0,9120	0,8460
	Kategorie 2 (Papier & Druck)	2,578	-34,73	6,481	0,1408	1,0214	1,0866	1,0720	1,0557	1,0117	0,9001	0,8511
	Kategorie 3 (Einzelhandel)	3,318	-36,28	7,096	0,0334	1,0692	1,0700	1,0589	1,0478	1,0449	0,9123	0,7982
	Kategorie 4 (Großhandel)	4,153	-38,13	7,595	0,0681	0,9761	0,9395	0,9649	0,9965	0,9899	1,0647	1,0617
	Kategorie 5 (Sonstige betr. Dienstl.)	2,918	-36,18	5,927	0,1152	1,1052	1,0857	1,0378	1,0622	1,0266	0,7629	0,8980
	Kategorie 6 (Gebietsk. & Sozialversich.)	2,787	-35,55	6,295	0,0996	1,0454	1,0509	1,0643	1,0611	0,9997	0,8638	0,9162
	Kategorie 7 (Kreditanst. & Versicherungen)	2,803	-36,59	5,538	0,1498	1,0864	1,0530	1,0449	1,0551	0,9627	0,8629	0,9353
	Kategorie 8 (Beherbergung)	2,010	-35,25	6,154	0,3295	0,9767	1,0389	1,0028	1,0162	1,0024	1,0043	0,9584
	Kategorie 9 (Gaststätten)	2,285	-36,29	6,589	0,3151	0,9322	0,9894	1,0033	1,0109	1,0180	1,0356	1,0091
	Kategorie 10 (Bäckereien)	0,652	-37,17	5,597	0,8221	1,0848	1,1211	1,0769	1,1353	1,1402	0,4852	0,9584
	Kategorie 11 (Wäschereien)	0,766	-36,02	4,866	0,8049	1,2457	1,2615	1,2707	1,2430	1,1276	0,3877	0,4615
	Kategorie 12 (Organisationen oh. Erw.zw. & Heime)	2,421	-34,76	7,010	0,1934	1,0081	1,0538	1,0203	1,0329	0,9814	0,9208	0,9807
	Kategorie 13 (Gartenbau)	3,390	-39,29	4,491	0,0835	0,9897	0,9627	1,0507	1,0552	1,0297	0,9767	0,9360



























13.7. Kategorie 6: Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen

Table with 4 main sections (Mo, Di, Mi, Do) and 31 columns (hours 6:00 to 6:00). Each section contains 11 rows of temperature ranges and their corresponding percentage values.









13.9. Kategorie 8: Beherbergung

**Anteil am Tagesverbrauch**

<b>Mo</b>	6:00 Uhr	7:00 Uhr	8:00 Uhr	9:00 Uhr	10:00 Uhr	11:00 Uhr	12:00 Uhr	13:00 Uhr	14:00 Uhr	15:00 Uhr	16:00 Uhr	17:00 Uhr	18:00 Uhr	19:00 Uhr	20:00 Uhr	21:00 Uhr	22:00 Uhr	23:00 Uhr	0:00 Uhr	1:00 Uhr	2:00 Uhr	3:00 Uhr	4:00 Uhr	5:00 Uhr
	7:00 Uhr	8:00 Uhr	9:00 Uhr	10:00 Uhr	11:00 Uhr	12:00 Uhr	13:00 Uhr	14:00 Uhr	15:00 Uhr	16:00 Uhr	17:00 Uhr	18:00 Uhr	19:00 Uhr	20:00 Uhr	21:00 Uhr	22:00 Uhr	23:00 Uhr	24:00 Uhr	1:00 Uhr	2:00 Uhr	3:00 Uhr	4:00 Uhr	5:00 Uhr	6:00 Uhr
Temp. <= -15 °C	4,66%	5,26%	4,83%	4,70%	4,61%	4,23%	3,83%	3,58%	3,47%	3,61%	3,96%	3,95%	4,46%	4,30%	4,08%	4,29%	4,14%	4,00%	3,97%	3,94%	3,66%	3,61%	4,08%	4,77%
-15 °C < Temp. <= -10 °C	4,76%	5,33%	4,86%	4,56%	4,54%	4,00%	3,95%	3,71%	3,67%	3,79%	4,01%	4,10%	4,45%	4,43%	4,31%	4,28%	4,22%	3,91%	3,88%	3,85%	3,56%	3,64%	3,93%	4,25%
-10 °C < Temp. <= -5 °C	4,87%	5,38%	4,89%	4,40%	4,45%	3,76%	4,08%	3,85%	3,88%	3,97%	4,05%	4,25%	4,44%	4,57%	4,44%	4,26%	4,29%	3,82%	3,79%	3,76%	3,45%	3,86%	3,78%	3,70%
-5 °C < Temp. <= 0 °C	4,92%	5,22%	5,27%	4,59%	4,31%	4,31%	4,17%	4,06%	4,04%	4,10%	4,05%	4,48%	4,37%	4,65%	4,52%	4,19%	3,76%	3,67%	3,26%	3,17%	3,27%	3,42%	3,87%	4,29%
0 °C < Temp. <= 5 °C	4,89%	5,28%	4,86%	4,48%	4,17%	4,18%	4,02%	3,82%	3,91%	4,02%	4,03%	4,40%	4,54%	4,66%	4,66%	4,37%	3,74%	3,48%	3,33%	3,30%	3,29%	3,76%	4,29%	4,52%
5 °C < Temp. <= 10 °C	5,37%	5,64%	4,97%	4,48%	4,26%	3,99%	3,83%	3,74%	3,72%	3,80%	3,94%	4,33%	4,57%	4,77%	4,75%	4,45%	3,77%	3,36%	3,09%	3,24%	3,08%	3,73%	4,52%	4,62%
10 °C < Temp. <= 15 °C	6,22%	7,08%	5,06%	4,32%	4,36%	3,87%	3,77%	3,48%	3,57%	3,65%	3,56%	4,18%	4,29%	4,78%	4,78%	4,67%	4,13%	3,34%	2,64%	2,78%	2,75%	3,51%	4,50%	4,71%
15 °C < Temp. <= 20 °C	6,37%	7,88%	5,28%	4,54%	3,74%	4,06%	3,74%	3,32%	3,93%	3,89%	3,41%	4,32%	4,42%	4,82%	4,81%	4,67%	4,08%	2,81%	2,14%	2,14%	2,33%	3,52%	4,93%	4,86%
20 °C < Temp. <= 25 °C	6,52%	8,87%	5,94%	4,44%	3,87%	3,57%	3,65%	3,37%	3,80%	3,75%	3,29%	4,25%	4,34%	4,93%	4,92%	4,44%	4,32%	2,54%	1,64%	1,62%	1,69%	3,70%	5,53%	5,01%
Temp. >25 °C	7,18%	9,77%	6,04%	4,36%	3,97%	3,42%	3,53%	3,19%	3,62%	3,56%	3,06%	4,14%	4,22%	4,99%	4,99%	4,59%	4,52%	2,47%	1,29%	1,36%	1,42%	3,57%	5,64%	5,11%

*[The following three tables (Di, Mi, Do) are identical in structure and content to the Mo table above.]*



















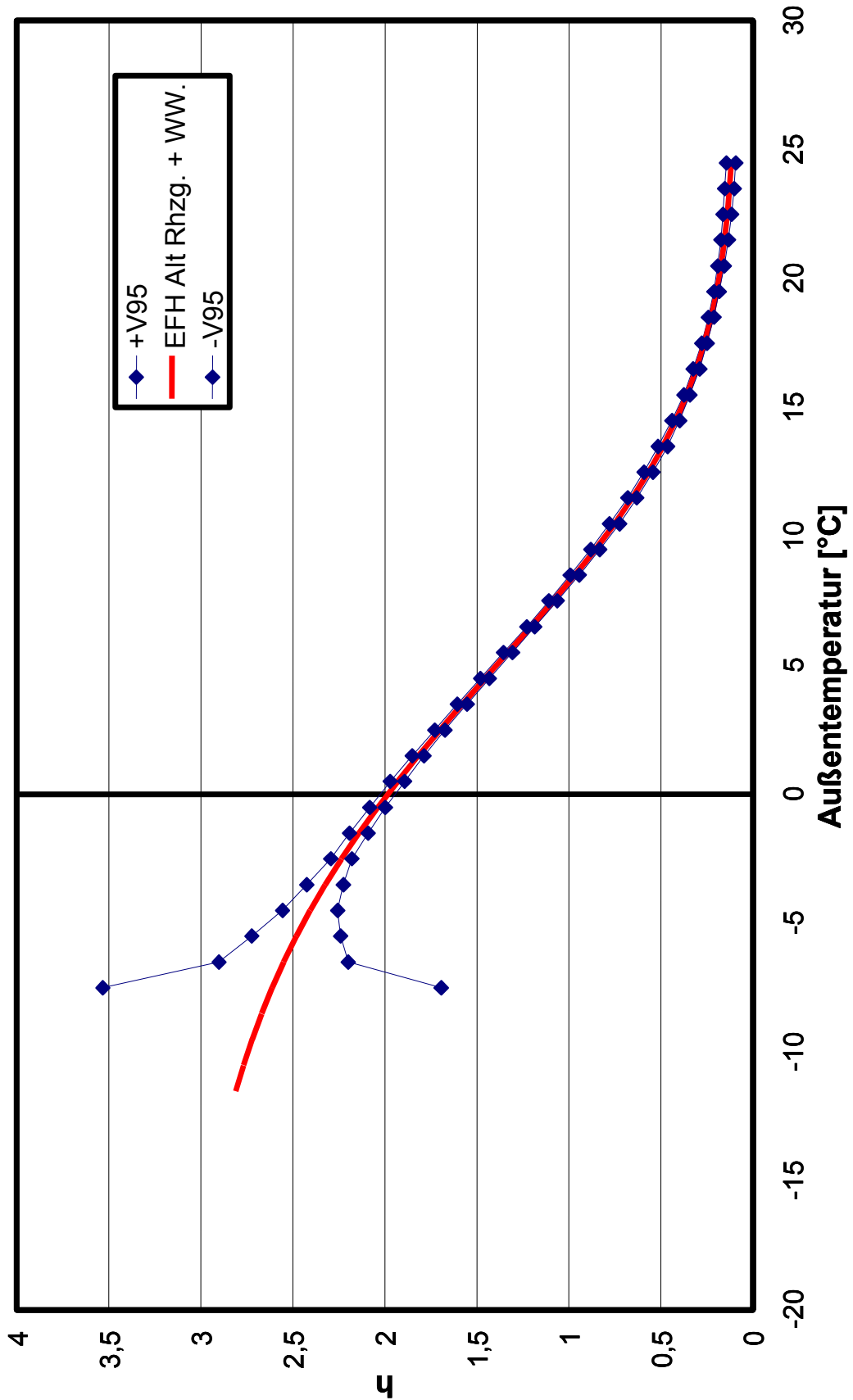




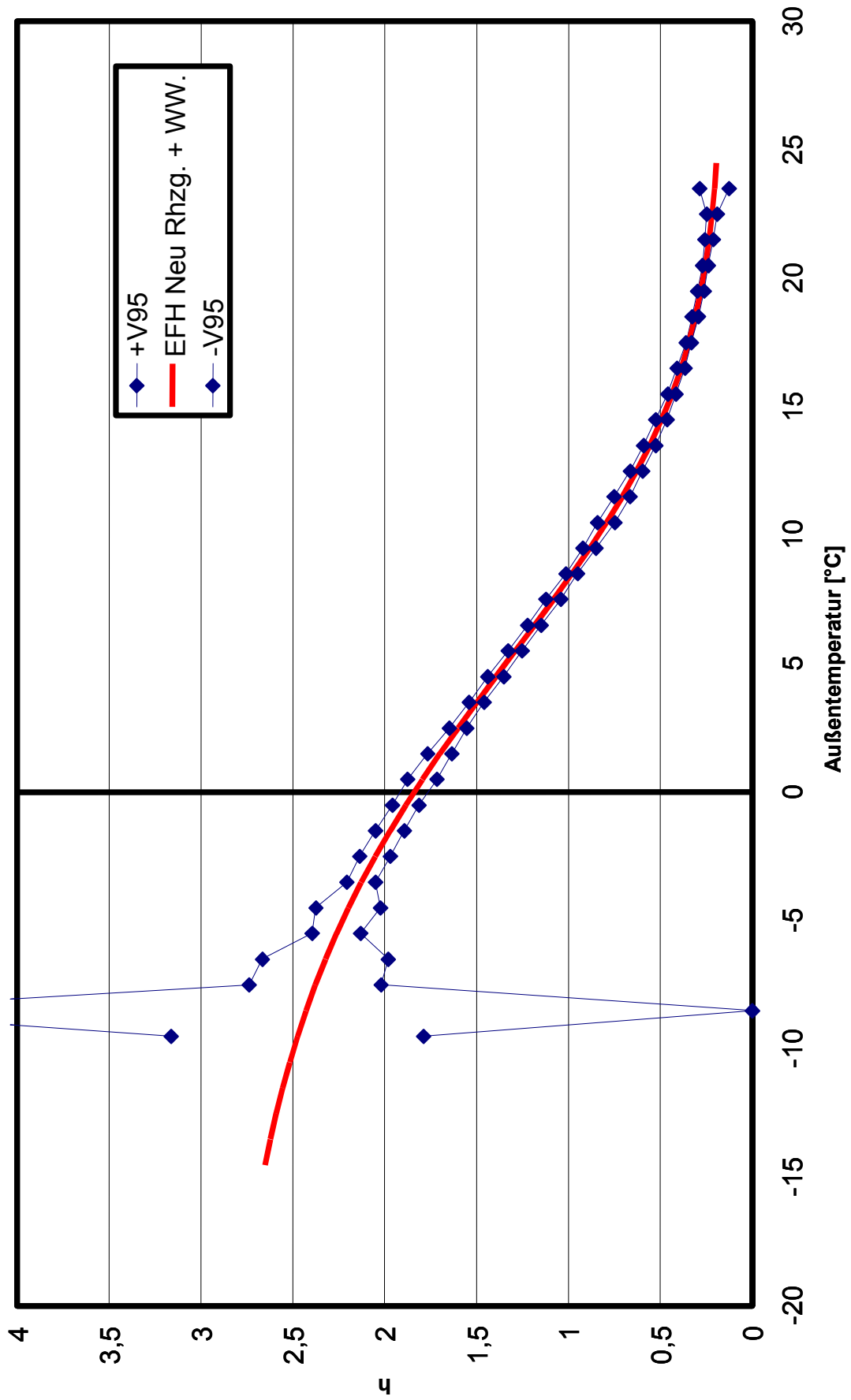


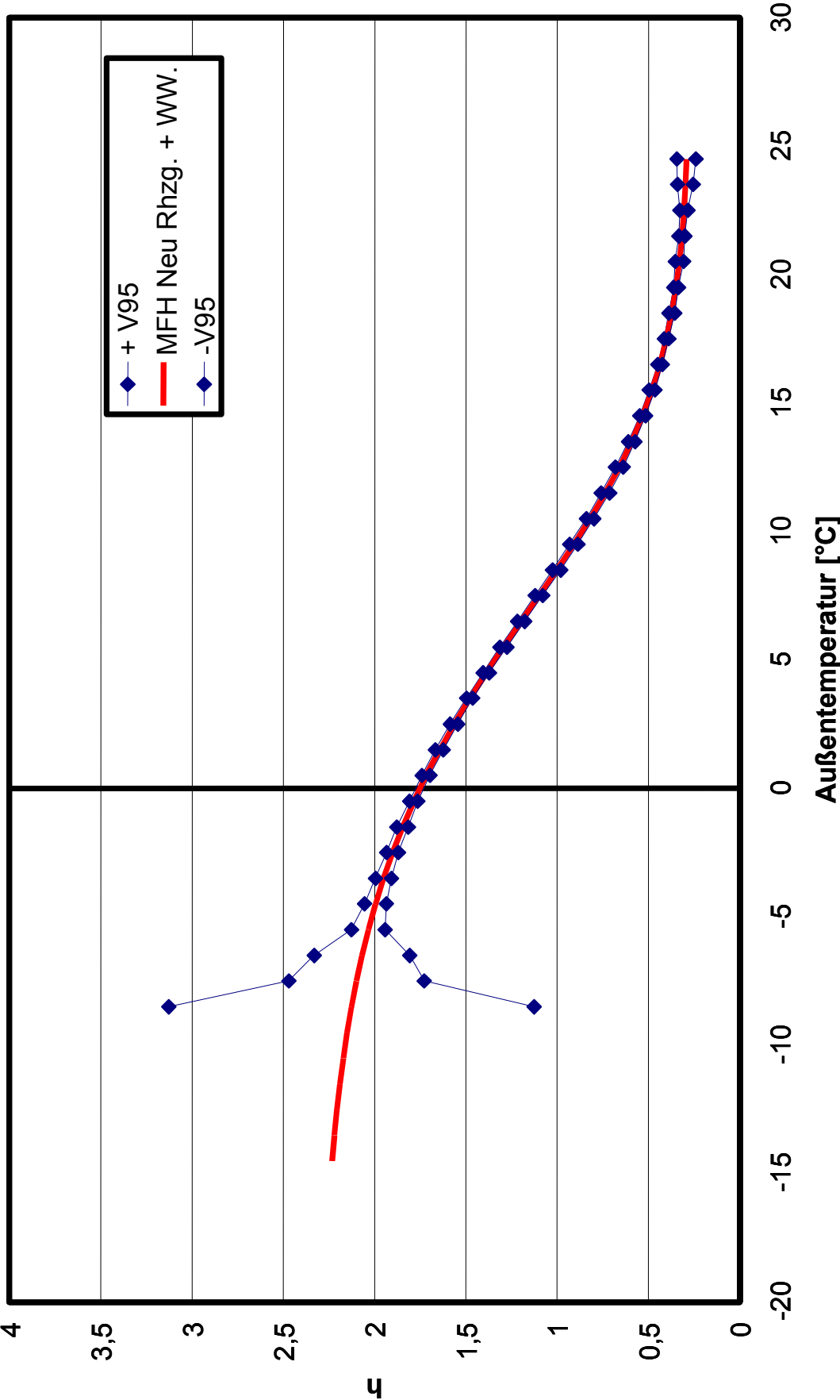
# 14. Anhang 4: Vertrauensbereiche

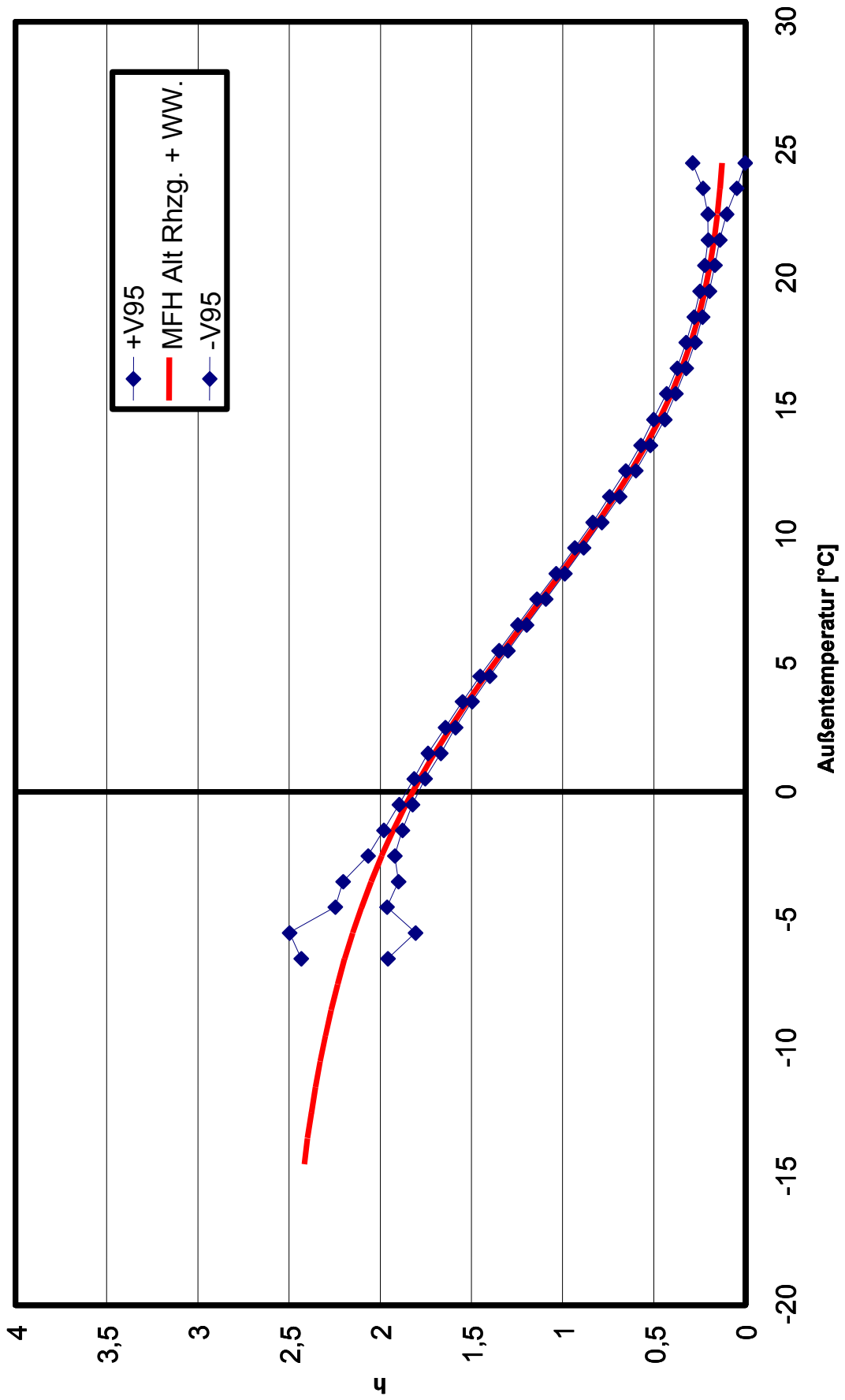
## 14.1. Haushalte











14.2. Gewerbe, Handel und Dienstleistung

